

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
EFFEKTIVITÄT EINIGER ANFEUCHTER

Gerhard Exner

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554426_0096

Aus dem Institut für Anaesthesiologie
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE EFFEKTIVITÄT
EINIGER ANFEUCHTER

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von
G e r h a r d E x n e r
aus Stuhm/Westpreußen

Mainz 1974

Fachbereichsdekan: Professor Dr. R. Wolf
Referent: Professor Dr. H. Nolte
Korreferent: Professor Dr. M. Halmagyi



Untersuchungen über die Effektivität einiger Anfeuchter

Mit zunehmender Narkosetechnik und dem Anwachsen der Zahl komplizierter und stundenlanger Operationen, die an die Widerstandskraft des Patienten höchste Ansprüche stellen, hat sich die Intubationsnarkose zur Beherrschung möglicher Zwischenfälle durchgesetzt. Aus der gleichen Situation heraus ist die Anwendung der Tracheotomie immer häufiger geworden, ganz besonders in der postoperativen Phase und zur Behandlung mangelhafter Atmung. Die künstliche Beatmung von der Hand des Anaesthesisten oder mechanisch durch Respiratoren, spielt seit einigen Jahrzehnten eine hervorragende Rolle in der Medizin und hat mit der Vielzahl ihrer Indikationen und Probleme eine eigene reichhaltige Literatur hervorgebracht. So wird auch das Problem der Anfeuchtung der Atemgase, das sich durch die Umgehung des Nasen-Rachen-Raumes bei der Intubation oder der Tracheotomie aufwirft, von zahlreichen Autoren behandelt. Neben der globalen Forderung nach Anfeuchtung und Erwärmung findet man schon in einer Vielzahl von Arbeiten sehr detaillierte Anforderungen an Apparate oder Methoden der künstlichen Beatmung.

Bevor jedoch darauf näher eingegangen werden soll, erscheint es zweckmäßig, einen kurzen Überblick über die beiden Verfahren der Intubation und Tracheotomie zu geben, denn Voraussetzung einer länger dauernden künstlichen Beatmung -- sei sie notwendig während der Operation, also nur für Stunden, oder als Langzeittherapie, wie in der Behandlung schwer Atemgelähmter mit den verschiedensten Genesen -- ist immer die Intubation oder die Tracheotomie, beides Verfahren, die aus den heutigen Narkose- und Wiederbelebungsverfahren nicht wegzudenken sind.

Intubation :

Die Vorteile der Intubation sind nach Frey, Hüglin und Mayrhofer in drei Gruppen zusammenzufassen :

1. Freihaltung der Luftwege, damit ausreichender Gasaustausch, Aspirationsverhinderung und Absaugmöglichkeit.
2. Kontrolle und Aufrechterhaltung einer ausreichenden Atmung. Das spielt besonders bei der Gabe von Relaxantien eine Rolle und
3. Freibleiben des Operationsfeldes vom Narkotiseur.

Nachteile wären in der Traumagefahr, dem subglottischen Oedem, Infektionen der Atmungsorgane und im Granulom des Larynx zu sehen. (1)

Dieselben Autoren geben auch eine Darstellung der Indikationen, die in vier Gruppen eingeteilt werden.

Die Intubation ist indiziert

1. von seiten der Operation,
z.B. ist sie bei einer intrathorakalen Operation obligat. Auch muß ihre Anwendung in Betracht gezogen werden bei der Beurteilung der Dauer, der Schwere und der Lagerungsmethode der Operation,
2. von seiten des Patienten,
entscheidend ist sein Zustand oder eventuell bei ihm vorhandene anatomische Besonderheiten,
3. von seiten der Anwendung bestimmter Narkosemittel,
z.B. bei Relaxantien und
4. bei operationslosen Verfahren zur Diagnostik oder zu therapeutischen Zwecken.

Kontraindikationen sind akute Entzündungen der oberen Luftwege und die Tuberkulose des Kehlkopfes. (2)

Tracheotomie :

Diesen weit gespannten Anwendungsmöglichkeiten der Intubation steht ein nicht minder weites Feld derer der Tracheotomie gegenüber. Für die Verwendung von Respiratoren mit oft wochenlanger mechanischer Ventilation ist sie eine noch wichtigere Vorbedingung als etwa nur die Intubation, denn der Reiz eines Intubationstubus bewirkt ja bekanntlich bei länger dauernder Liegezeit Veränderungen an den Stimmbändern. Deshalb fordern obige Autoren eine frühzeitig durchgeführte Tracheotomie, wenn vorauszusehen ist, daß eine längere Beatmungsphase nötig werden wird. (3)

Demgegenüber ist es in letzter Zeit auch üblich geworden, bei naso-trachealer Intubation den Tubus für mehrere Tage zu belassen.

Die Vorteile der Tracheotomie liegen -- wie bei der Intubation - in der Möglichkeit der jederzeit durchführbaren Bronchialtoilette durch Absaugen, in der Verkleinerung des Totraumes und in der bei plötzlich auftretender Ateminsuffizienz sofort möglichen Beatmung. (4)

Die Indikationen zur Tracheotomie sind von Crawford zusammengestellt worden. Er hält diesen Eingriff für nötig :

1. bei mechanischer Obstruktion in den oberen Luftwegen, besonders bei Neoplasmen und deren Therapiefolgen (narbige Schrumpfung nach Bestrahlung). Ebenfalls bei Entzündungen in diesem Bereich, besonders bei laryngo-trachealem Oedem als Folgezustand, bei schwerer Angina, Diphtherie, chronisch granulierenden Prozessen, auch bei schweren Verbrennungen und Verätzungen der Luftwege mit folgender Stenosierung, bei der Unmöglichkeit, diese mit konventionellen Mitteln offen zu halten und

schließlich bei Traumata, die dabei entstanden, daß Fremdkörper aus der Trachea beseitigt wurden.

2. bei funktionellen Störungen,
besonders bei Emphysem mit unzureichender Atemreserve. Hier soll die Prozedur als Vorsorge zu einer präoperativen Besserung dienen; weiter bei Larynx- oder Trachealäsionen, bei Thoraxkontusionen und bei gestörtem neuromuskulären Atemmechanismus.
3. bei gestautem Sekret des Bewußtlosen mit Schädelverletzungen, Apoplex, Arzneimittelvergiftung, Urämie, Septicämie, bei postoperativen Zuständen nach neurochirurgischen Eingriffen. Desgleichen bei wachen Patienten mit postoperativer Deblilität, schweren Thoraxerkrankungen, Verbrennungen und Verätzungen im Respirationstrakt, bei Poliomyelitis, Encephalitis, Nervenschädigungen der oberen Thoraxmuskulatur, bei Myasthenia gravis und bei akuten Blutungen nach bronchoskopischer Biopsie. (5)

Künstliche Beatmung und Respiratoren :

Im engsten Zusammenhang mit den beiden bisher besprochenen Verfahren steht die künstliche Beatmung. Sie stellt eine der Hauptindikationen dar und ist ein wichtiges Therapiemittel in der Hand des Anaesthesisten, wie auch auf anderen Gebieten der Medizin. Rossier, Bühlmann und Wiesinger sprechen dann von künstlicher Beatmung, "wenn durch irgendwelche Maßnahmen die Funktion der Atemmuskulatur bzw. der sie innervierenden Nerven übernommen wird, die Funktion des Gasaustausches selber aber der Lunge des Patienten überlassen bleibt". (6)

Solange sie nicht, bei kurzer Anwendungsdauer von der Hand des Anaesthesisten vorgenommen wird - etwa bei der kontrollierten Beatmung während einer Operation -, kann sie durch eine Vielzahl von Respiratoren aufrecht erhalten werden, die man, je nach ihrer Arbeitsweise, in mehrere Gruppen einteilen kann.

Bates und Christie führen solche mit einem Volumen- und einem druckgesteuerten Verfahren an. Außerdem nennen sie noch ein zeitgesteuertes. Schließlich erwähnen sie noch Ventilatoren mit einem Trigger-Effekt, das sind Einrichtungen, die eine aufkommende oder noch vorhandene Spontanatmung nicht unterdrücken sondern sich ihr anpassen. Man spricht von einer assistierten Beatmung. (7)

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Respiratoren zu erörtern würde hier zu weit führen. Wichtiger erscheint uns die Diskussion der Indikationsstellung zur künstlichen Beatmung, insbesondere zur Anwendung eines Respirators. Nach Rossier, Bühlmann und Wiesinger sind zwei große Indikationsgruppen zu nennen :

1. Die komplette Atemlähmung ohne jegliche Spontanatmung. Sie ist bedingt durch die Inaktivität des Atemzentrums bei Trauma, Blutung und toxischer oder infektiöser Schädigung. Sie kann auch bedingt sein durch eine Unterbrechung efferenter Nervenbahnen zur Atemmuskulatur. Schließlich kann letztere selbst blockiert sein, etwa bei der Anwendung von Curare oder bei der Myasthenia gravis.
2. Die inkomplette Atemlähmung bei ungenügender Spontanatmung. Hierher gehören die peripher bedingten Störungen, wie etwa die spinale Form der Poliomyelitis, der Morbus Guillain-Barrè, die Muskeldystrophie und die Myasthenie. (8)

Darüberhinaus hat sich die künstliche Beatmung mehr und mehr durchgesetzt zur Behandlung von Hyperkapnien infolge schwerer chronischer Lungenkrankheiten, wie etwa dem Emphysem, ebenfalls in der postoperativen Phase nach chirurgischen Eingriffen an Herz und Thorax, nach Thoraxtraumen und nach erfolgreicher Wiederbelebung. (9)

Beates und Christie geben als absolute Indikation an :

1. wenn der augenblicklich bestehende Zustand der Ateminsuffizienz reversibel ist, z.B. bei schwerem Status asthmaticus, und
2. wenn die Atemlähmung, welchen Ursprunges sie auch immer sein mag, eingeleitet wurde durch die Gabe von atemdepressorischen Mitteln.

Als einzige Kontraindikation lassen diese Autoren fortgeschrittene unheilbare Krankheiten mit Atemdepression gelten, wie etwa die Atemlähmung aufgrund einer Schädigung des Atemzentrums durch Hirnmetastasen. (10)

Mit der exakten Diagnose aus der Bestimmung von P_{O_2} , P_{CO_2} und pH des Blutes ergibt sich in der Blutgasanalyse ein gutes Maß zur Beurteilung der Frage, wann die Notwendigkeit zur künstlichen Beatmung entsteht. Zudem kann über diese Messungen der Effekt der Beatmung laufend kontrolliert werden, denn über die hergestellten alveolären Gasspannungen werden ja O_2 -Sättigung, CO_2 -Spannung und das Säure-Basen Gleichgewicht im arteriellen Blut beeinflusst und sollten überwacht werden. (11)

So wird nicht nur die Funktion der ausgefallenen Atemmuskulatur ersetzt, sondern ebenfalls die regulatorische Funktion der Lunge. (12)

Ein spirometrisches Maß zur Indikationsstellung gibt Dönhardt mit dem spirographischen Defizit an. Als absolute Indikation zur Anwendung der eisernen Lunge nennt er

1. das Absinken der Vitalkapazität unter $1/4$ des VK Soll,
2. das Absinken des Atemgrenzwertes unter das Zweifache des Atemminutenvolumens,
3. den Anstieg der Atemfrequenz über das Zweifache des F soll und
4. den Anstieg des CO_2 expir. über 4,5 %. (13)

Jedoch hat diese Möglichkeit zur Indikationsstellung seit Einführung der Blutgasanalyse mit der Mikrometermethode (Astrup) an Bedeutung verloren.

Die Umgehung der oberen Luftwege und die dadurch entstehenden Verlustziffern in deren Funktion

Mit dem Entschluß zur künstlichen Beatmung und damit zur Anwendung eines Respirators, die eine vorherige Intubation oder Tracheotomie notwendig macht, erhebt sich das Problem der Umgehung der oberen Luftwege und damit das Wegfallen der natürlichen Erwärmungs- und Anfeuchtungsfunktion der Nasen-Rachenhöhle.

Schon ohne das Fehlen dieser Funktion ist die Atmung von unangefeuchteten und -gewärmten Gasen nur durch eine gewöhnliche Maske mit einem gewissen Wärme- und Feuchtigkeitsverlust verbunden, denn jede Applikation nicht verbe-handelten Gases erfordert ja durch dessen niedrigen Gehalt an Wärme und Feuchtigkeit den Ausgleich von seiten des Or-

ganismus. Macintosh hat für die verschiedenen Methoden der Ätheranwendung die Feuchtigkeits- und Wärmeverluste berechnet und kam zu folgenden Ergebnissen. (14)

Schon die offene Äthernarkose mit der Tropfmaske ergibt einen Wärmeverlust von 120 cal/min, wenn das Atemminutenvolumen 8 Liter, die Temperatur der eingeatmeten Gase 0° C und die der ausgeatmeten 37° C betragen. Die spezifische Wärme des Gasgemisches betrage dabei 0,0004 cal/ml.

$$8000 \times 37 \times 0,0004 = 120$$

Nimmt man weiterhin an, daß der Wasserdampfgehalt des eingeatmeten Gases 0,5 %, der des ausgeatmeten 6 % beträgt, so ergibt sich ein Wasserdampfverlust von 5,5 %. Von 8 Litern wären das 440 ml entsprechend etwa 0,31 g Wasser (als Differenz der spezifischen Volumina des gesättigten Wasserdampfes bei 0° C und bei 37° C).

Dieser Feuchtigkeitsverlust ist mit einem solchen von Wärme verbunden. Um nämlich 1 ml Wasser bei Körpertemperatur zu verdampfen, was eine Wasserdampfmenge von 1400 ml ergeben würde, werden 580 cal benötigt. Der gesamte Wärmeverlust beträgt dann 300 cal/min, wobei sich die addierten 180 cal nach

$$\frac{440}{1400} \times 580 = 180$$

berechnen lassen.

Für die halboffene Methode, bei der die Gasgemische den Patienten mit Zimmertemperatur erreichen, betragen die Werte für den Wärmeverlust 250 cal/min, für den der Feuchtigkeit 480 ml Wasserdampf/min.

Selbst in der Kreislaufmethode, bei der durch die Erwärmung des CO_2 -Absorbers und durch die Kondensation des Wasserdampfes in den Atemschläuchen dem Gasgemisch noch eine relativ hohe Ersparnis der eigenen Temperatur zugute kommt, ergibt sich noch ein Wärmeverlust von insgesamt 180 cal/min und ein Wasserdampfverlust von 320 ml/min.

Rechnet man diese Verlustziffern auf solche Zeiträume um, die einer durchschnittlichen Operationsdauer entsprechen, so ergeben sich nicht unerhebliche Mengen, deren Bedeutung noch insofern wächst, als keinerlei Feuchtigkeitzufuhr besteht und die Muskeltätigkeit, die Hauptquelle der Körperwärme, während der Narkose natürlich nicht aufrechterhalten werden kann, somit die Körpertemperatur absinkt. (15)

Wenn man diese Ergebnisse, die bei voll funktionstüchtigem oberen Respirationstrakt gewonnen wurden, betrachtet, muß der Ausfall der Funktionen dieses Traktes während der Intubation oder nach der Tracheotomie besonders bedenklich erscheinen.

Nach Messungen von Rügheimer beträgt die Anfeuchtungsleistung des Nasen-Rachen-Raumes pro Tag 570 g H_2O . Für die notwendige Erwärmung bringt er 390 Kcal auf. (16)

Diese gewaltigen Leistungen erklären sich daraus, daß bereits nach der Stimmritze die Atemluft auf Körperbedingungen gebracht ist. Verzar, Keith und Parchet stellten fest, daß bei Nasenatmung die Temperatur unterhalb der Stimmbänder inspiratorisch $34,6^\circ \text{C}$ und expiratorisch $35,9^\circ \text{C}$ beträgt, somit nur noch eine Schwankungsbreite von $1,3^\circ \text{C}$ aufweist. (17)

Die Luftfeuchtigkeit betrug an dieser Stelle bereits mehr als 96 %. (18)

Fällt also die Funktion der Nasenatmung aus, so müssen sich Veränderungen erheblichen Ausmaßes ergeben, die sich besonders in einer starken Austrocknung dokumentieren. Als extremes Beispiel mögen Beobachtungen von Schwab dienen, der über die Schleimhautveränderungen der Trachea von Laryngektomierten berichtet. Dabei ist in allen untersuchten Fällen das mehrschichtige Flimmerepithel des normalen Aufbaus einer metaplastischen Umwandlung in verdicktes, oberflächlich verhornendes Plattenepithel gewichen, das sich bis in die Schleimdrüsenausführungsgänge hinein fortsetzt. Es sitzt einem ziemlich gefäßreichen, oft oedematös aufgelockerten Bindegewebe auf. Es finden sich auch sehr viele Schleimdrüsen mit vermehrter Sekretion. (19)

Nach Ansicht Schwabs sind diese Veränderungen kanülenbedingt, jedoch für die Funktion ohne Bedeutung. (20)

Besonders geschädigt wird bei dieser Austrocknung mit erhöhter Viskosität des Trachealschleimes die Tätigkeit der Cilien. Burton hat letztere an Hunden mittels in die Trachea eingebrachter Spuren von Indian Ink untersucht. Unter Sicht eines Bronchoskopes wurde die Substanz in der Gegend der Carina auf den Trachealschleim aufgebracht und unter verschiedenen Versuchsbedingungen bezüglich ihrer Wanderungsgeschwindigkeit überprüft.

Im Normalfall, also bei Nasenatmung, erreichten die Substanzspuren die Stimmritze innerhalb von 20 bis 30 Minuten. Bei Verwendung eines endotrachealen Tubus ergab sich selbstverständlich an der Lagestelle des aufgeblasenen Ballons ein Stop der Wanderung bei sonst unbehindertem Cilienschlag. Auch bei Verwendung eines angefeuchteten und erwärmten Gasgemisches traten keine wesentlichen Änderungen in dessen Funktion ein. Eine drastische Verlangsamung der Substanzwanderung und damit des Cilienschlages entstand erst bei der Anwendung trockenen Gases. In diesem Falle verlangsamte

sich das Tempo der Substanzspuren auf 2,5 cm pro 30 Minuten am Ende einer 4 1/2 Stunden dauernden Narkose. (21)

Nach Rügheimer, der ähnliche Untersuchungen angibt, ist die Bewegung des Trachealschleimes durch den Cilienschlag zur Stimmritze hin mit ca. 1 cm/min. anzunehmen, wobei als wichtigste Voraussetzungen eine Körpertemperatur von 37°C und eine relative Feuchtigkeit von 100 % gefordert werden müssen. (22)

Eine derartige Transportverlangsamung entsteht aus der Eintrocknung und Verdickung des Bronchialsekretes, sowie der Beeinträchtigung der Flimmerepitheltätigkeit (23) und bedingt einen erheblichen Sekretstau, der sowohl für die Freihaltung der Atemwege, als auch für eine erhöhte Infektionsgefahr von Bedeutung sein kann, zeigt doch das Beispiel des Sekretrückstaus bei Bronchiektasen die dauernde Gefahr von Begleitinfektionen.

Über Temperaturschwankungen innerhalb der Trachea bei Umgehung des Nasen-Rachen-Raumes existieren Untersuchungen von Gillies. Er brachte bei Intubierten Thermoelemente in die Trachee ein und verglich diese Werte mit der Rectaltemperatur. Unter einer intravenösen Penthotal-Natrium-Anaesthesie maß er an der Bifurcation Werte von 34 und 35°C . Bei der Verwendung eines halboffenen Systems nach Boyle fiel diese Temperatur um 5 bis 7°C ab. Wurde dieser Apparat durch ein geschlossenes System ersetzt, so zeigte sich eine Erhöhung der Temperatur um 2 und 3°C . Sie lag aber immer noch unter der Rectaltemperatur. Erst mit der Verwendung der "to and fro" CO_2 -Absorptionstechnik mit Sodaleimkanister erreichte die Bifurcationstemperatur die des Rectums. Mit Cyclopropan zeigte sich sogar eine leichte Erhöhung darüber hinaus, welchen Effekt Gillies zur Beseitigung einer momentanen Unterkühlung für geeignet hält. Die

Raumtemperatur lag bei all diesen Versuchen um 23 bis 24° C.
(24)

Relevant ist jedoch die enorme Wärmeverlustziffer von 5 bis 7° C. Im letzteren Falle herrschte dann an der Carina eine Temperatur von 27° C.

Legt man die von Ingelstedt gefundenen Werte eines Gesunden mit Nasenatmung zu Grunde, die unterhalb der Stimmritze bei Inspiration $32,3^{\circ}$ C betragen und bei Expiration $36,4^{\circ}$ C, so ergibt sich eine Differenz von $5,3$ respektive $9,4^{\circ}$ C. (25)

Dabei ist zu berücksichtigen, daß Ingelstedts Messungen höher in der Trachea vorgenommen wurden als die von Gillies. Verzar, Keith und Parchet fanden etwas höhere Werte. Sie maßen unter der Stimmritze während der Inspiration $34,6^{\circ}$ C und während der Expiration $35,9^{\circ}$ C, selbstverständlich bei Nasenatmung. An der Carina fanden sich die schon oben erwähnten Werte von $35,9^{\circ}$ C für die Inspiration und $36,5^{\circ}$ C für die Expiration. (26)

Das würde unser errechnetes Defizit noch vergrößern.

Offenbar spielt auch die Trachea im Erwärmungs- und Anfeuchtungsprozeß der Atemluft eine Rolle. Ein Beweis dafür sind die Untersuchungen von Schwab über die Temperaturen bestimmter Meßpunkte in den Tracheen Laryngektomierter, die allerdings schon gewisse Anpassungserscheinungen aufwiesen, über die oben schon berichtet wurde (s.S. 10 und 11). Bei Raumtemperaturen zwischen 23 und 27° C maß Schwab 2 cm unterhalb des Tracheostomas Werte von $31,3^{\circ}$ C im Mittel, dagegen in einer Tiefe von 10 cm, was etwa der Lokalisation der Bifurcation entspricht, $34,3^{\circ}$ C. Am ersten Meßpunkt ergaben sich bei extremer In- und Expiration noch große Schwankungen dieser Werte, während das am Meßpunkt zwei nicht mehr der Fall war. (27)

Die Erwärmungsfähigkeit der Trachea ist demnach erstaunlich hoch, sie übersteigt im Mittel die Raumtemperatur um $10,7^{\circ}\text{C}$. Offenbar wird das durch die Strahlungswärme bewirkt, die die in unmittelbarer Nähe der Trachea verlaufenden großen Gefäße abgeben. Der Autor folgert daraus, daß zumindest bei Zimmertemperaturen eine ausreichende Vorwärmung durch die Trachea allein erfolgen kann, während sie bei Kälte fraglich ist. (28)

Für die Anfeuchtung kommt er zu ähnlichen Schlüssen, ohne allerdings Meßzahlen anzugeben, aufgrund der gesteigerten Sekretion der Schleimhautdrüsen. (29)

Jedoch werden diese Werte unserer Meinung nach nicht als Ausdruck normaler Funktion zu betrachten sein, sondern als eine sich langsam entwickelnde überschießende Restfunktion in Anpassung an einen einschneidenden Ausfall.

Zusammenfassend kann man also sagen, daß bei der Umgehung des oberen Respirationstraktes mit seinen spezifischen Leistungen bei der Intubation oder Tracheotomie Ausfälle resultieren, die unbedingt substituiert werden sollten, um nicht eine weitere Verschlechterung von Zuständen herbeizuführen, die allein schon eine Notwendigkeit zur Anwendung der mechanischen Ventilation darstellen.

Rügheimer fordert eine relative Feuchtigkeit von 60-80 % im Krankenzimmer schon für Patienten ohne Ausfall des oberen Respirationstraktes. Für Personen mit Ausfall dieser Funktion hält er selbst diese Werte für unzureichend und fordert, daß jedes Gas, das den Atmungstrakt erreichen soll, eine relative Feuchtigkeit von 100 % bei Körpertemperatur haben sollte. (30)

Anfeuchtung der Atemluft

Wenn wir mit Ingelstedt (31), sowie Verzar u.a. (32) annehmen, daß die Feuchtigkeit unterhalb der Stimmritze bei Gesunden mit Nasenatmung 96 % rel. Feuchtigkeit beträgt und keine nachweisbaren Schwankungen aufweist, dann zeigt sich noch einmal die Dringlichkeit der Substitution jener Ausfälle des Nasen-Rachen-Raumes, den man auch als natürlichen "air-conditioning Apparat" (33) bezeichnen könnte.

Die Forderung nach Anfeuchtung der Atemluft zieht sich denn auch durch die gesamte Literatur der Medizin und ihrer Randgebiete, vom Lehrbuch bis zu Arbeiten über die Behaglichkeit von Wohnräumen.

Grandjean erklärt zum Beispiel das gehäufte Auftreten von Erkältungskrankheiten in Perioden mit trockener Heizungs-luft durch die Entstehung eines günstigen Milieus im Bronchialbaum für die Entwicklung von Keimen. (34) Ein weiterer Grund für die erhöhten Gefahren einer Infektion in Heizungsperioden liegt in dem günstigen Einfluß von trockener Luft auf die Überlebensrate bestimmter Erreger. Dunklin stellte fest, daß u.a. Pneumococcen besonders gut bei niedrigem Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Raum überlebten. (35)

Grandjean fordert deshalb, daß die relative Feuchtigkeit in geheizten Räumen nicht unter 30 % absinken dürfe. (36)

Wenn schon für die normale Luft bei intakter Funktion des Nasen-Rachen-Raumes solche Forderungen erhoben werden, um wieviel mehr Vorsicht muß dann bei der künstlichen Beatmung angewandt werden, bei der Gase benutzt werden, denen zu Lagerungszwecken weitgehend alle Feuchtigkeit entzogen wurde bei einer ebenfalls starken Senkung der Temperatur. So ist denn auch die Forderung nach ausreichender Befeuch-

tung des Atemgemisches bei Verabreichung durch einen Tubus oder durch das Tracheostoma eine allgemeine.

Frey, Hügin und Mayrhofer (37) fordern sie ebenso wie Bates und Christie (38) bei der Anwendung der künstlichen Beatmung über mehrere Stunden. Bei Rossier, Bühlmann und Wiesinger gehört sie zu den Anforderungen, die an einen modernen Respirator gestellt werden (39), und Crawford widmet ihr in seiner Untersuchung über die Indikationen zur Tracheotomie ein ausführliches Kapitel (40).

Aus dieser Situation heraus ist das reichhaltige Angebot von Anfeuchtern zu verstehen, die als selbständige Apparate oder als Zubehör zu Respiratoren heute auf dem Markt sind. Bei dieser nicht unerheblichen Auswahl erhebt sich die Frage nach den am meisten funktionstüchtigen unter ihnen. Im Rahmen des Versuchsteiles dieser Arbeit soll versucht werden, eine Übersicht über Arbeitsweise und Effektivität einiger Anfeuchter zu geben.

Anfeuchter

Folgende Anfeuchter wurden untersucht :

1. Solche mit dem Flow-over-Prinzip, d.h. das Gas wird über die Flüssigkeit oder eine befeuchtete Fläche geleitet. Der Anfeuchter des Engström-Respirator fällt unter diese Rubrik. Eine senkrecht stehende schwammartige Schaumgummiplatte saugt sich voll Wasser, das auf dieser großen Fläche verdunstet und von dem an der Platte entlangstreichenden Gasstrom mitgerissen wird.
2. Solche mit dem Flow-through-Prinzip, sog. Sprudler, das sind Apparate, in denen das Gas durch einen porösen Stein oder ein Netz fein verteilt durch das Wasser geleitet wird.

Hier wäre der Dräger-Sprudler zu nennen, zu derselben Kategorie gehört der Bennett Cascade Humifidier. Er wird als Zubehör zum Bennett-Respirator geliefert, kann aber auch isoliert verwendet werden. Neben dem Sprudler-Prinzip verfügt er über die Möglichkeit, die Befeuchtungsflüssigkeit zu erwärmen, um so bei zunehmender Erwärmung des Gasstromes den Sättigungseffekt intensivieren zu können. Zu diesem Zweck ist er mit einer Heizspirale versehen, die die Erwärmung mit einem gestaffelten Heizstufensystem von 1 bis 9 vornimmt.
3. Solche mit dem Zerstäuberprinzip, die praktisch nach dem Wasserstrahlpumpenverfahren arbeiten. Vom Gasstrom wird durch eine Kapillare die Feuchtigkeit angezogen, mitgerissen und dabei zerstäubt. Nach diesem Verfahren arbeitet der Ailschield-Zerstäuber, der für Inkubatoren konstruiert wurde.

Eine Modifizierung dieses Systems zeigen Langzeitvernebler und Injektor des Bird-Respirators und der In-

jektor des Bennet-Respirators, die im Nebenschluß einen Jet-Strom mit höherem Druck als der laufende Gasstrom zum Anfeuchter schicken, der die Flüssigkeit durch die Kapillare hochreißt und mittels einer Düse zerstäubt. Dabei dient der Langzeitvernebler der Luftbefeuchtung bei Dauerbeatmung während der Injektor zur Medikamentenapplikation zum Gasgemisch benutzt wird. Er kann jedoch auch als Anfeuchter isoliert verwendet werden.

4. Solche mit dem Prinzip der Überschallvernebelung. Dabei tropft Flüssigkeit auf eine mit Überschallschwingende kleine Plattform und wird dadurch zu feinsten Wasserstaubteilchen verteilt. Nach diesem Prinzip arbeitet der H.N.E. Ultrasonic Nebulizer.

Fragestellung und Versuchsanordnung

Nach allem, was bisher über die Notwendigkeit der Substitution zu Verlust gehender Feuchtigkeit gesagt wurde, soll nun die Frage aufgeworfen werden nach der Effektivität der genannten Anfeuchter. Es soll also gemessen werden, auf welche Werte von relativer Feuchtigkeit diese Apparate die bei unterschiedlichem Gasstrom angebotenen Gase bringen können. Soweit entsprechende Einrichtungen vorhanden sind, soll dies mit Erwärmung, sonst ohne Erwärmung des Wassers im Anfeuchter und damit der Atemgase geschehen. Die Versuche werden bei Zimmertemperatur vorgenommen.

Weiterhin gehen wir davon aus, daß die Versuchsbedingungen möglichst denen am Krankenbett in einem durchschnittlichen

Krankenzimmer entsprechen sollen. Das bedeutet, daß wir nicht in einem kleinen geschlossenen Raum, z.B. in einer Plexiglaskammer, wie andere Untersucher (41) sie benutzen, die Feuchtigkeit der hineingeleiteten Gase messen, sondern direkt an dem Ort, der für den Patienten mit einem Tracheostoma oder dem eingeführten Intubationstubus relevant ist. Dies ist der Raum, der sich direkt über dem Tracheostoma oder über der Tubusöffnung befindet. Feuchtigkeit und Wärme des durch diesen angenommenen Raum fließenden Gases sind für unsere Problemstellung von Bedeutung, wobei es gleichgültig ist, ob das Gas danach in den freien Raum austritt oder ob es im Schlauchsystem eines Ventilators zunächst weitergeleitet und teilweise wiederverwendet oder durch ein Auslaßventil ausgestoßen wird. Indem wir die erwähnte Kammer nicht benutzen, vermeiden wir eine Kumulation von Gas und damit von Feuchtigkeit und Wärme und kommen auf diese Weise der natürlichen Situation am Patienten am nächsten. Aus demselben Grund meinen wir auch darauf verzichten zu können, einen auf Körpertemperatur gebrachten Meßraum zu benutzen. Für unsere Versuchsordnung finden wir also folgenden Weg am zweckmäßigsten. Von einer O_2 -Quelle mit Gasstrommesser aus wird der zu untersuchende Anfeuchter mit einer bestimmten Gasmenge beschickt. Nachdem sie ihn durchlaufen hat und dabei die für die gerade vorhandene Temperatur größtmögliche Sättigung erreicht hat, wird sie durch einen in der Anaesthesie üblichen genormten Schlauch von stets gleichbleibender Länge und ebenfalls gleichbleibendem Durchmesser weitergeleitet, um auch hier den normalen Bedingungen zu entsprechen. An dessen Ende trifft sie auf ein Hygro- und ein Thermometer und wird von diesen bezüglich ihrer Werte von Feuchtigkeit und Wärme gemessen. Ein zweites Thermometer befindet sich im Lumen des Schlauches direkt nach der Auslaßöffnung des Anfeuchters. Nach dem Schlauch verläßt das Gas das System und tritt in den freien Raum über. Dieser

Raum soll in seinen Bedingungen möglichst einem Krankenzimmer entsprechen, um die bei laufender Apparatur entstehenden Änderungen von Feuchtigkeit und Wärme im Gesamtraum möglichst ähnlich zu halten, und sollte möglichst geringen Schwankungen der Eigenfeuchtigkeit und -temperatur unterworfen sein. Zu deren Überprüfung muß eine weitere Meßgruppe (Hygro- und Thermometer) im Raum angebracht werden. Wir arbeiten mit reinem Sauerstoff aus großen Stasflaschen und benutzen als Gasstrommesser einen Trockenrotameter der Firma Dräger. Es werden handelsübliche Thermo- und Haarhygrometer verwendet.

Bei der Beschreibung der Anfeuchter sahen wir, daß diese zu unterteilen waren in solche, die isoliert zu verwenden sind, und solche, die nur im Zusammenhang mit Respiratoren arbeiten. Entsprechend wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Für die erste, die sich mit der Kapazität isolierter Anfeuchter befaßte, wurde die obige Versuchsanordnung verwendet und dahingehend modifiziert, daß das Hygrometer so in die weite Öffnung eines Glastrichters gehängt wurde, daß an den Seiten genügend Raum für die vorbeistreichenden Gase blieb.

Abbildung 1 zeigte diese Versuchsanordnung (s.S. 20).

Mit dieser Anordnung wurden also diejenigen Anfeuchter gemessen, die nicht zum System eines Respirators gehören, oder aber, obwohl als Zubehör geliefert, von ihm getrennt zu verwenden sind. In dieser ersten Versuchsreihe wurden während eines kontinuierlichen Gasstromes von 2, 4, 6 und 8 Litern/min folgende Anfeuchter gemessen :

1. der Drägersprudler,
2. der Bennet Cascade Humifidier,
3. der Anfeuchter des Engström-Respirators,

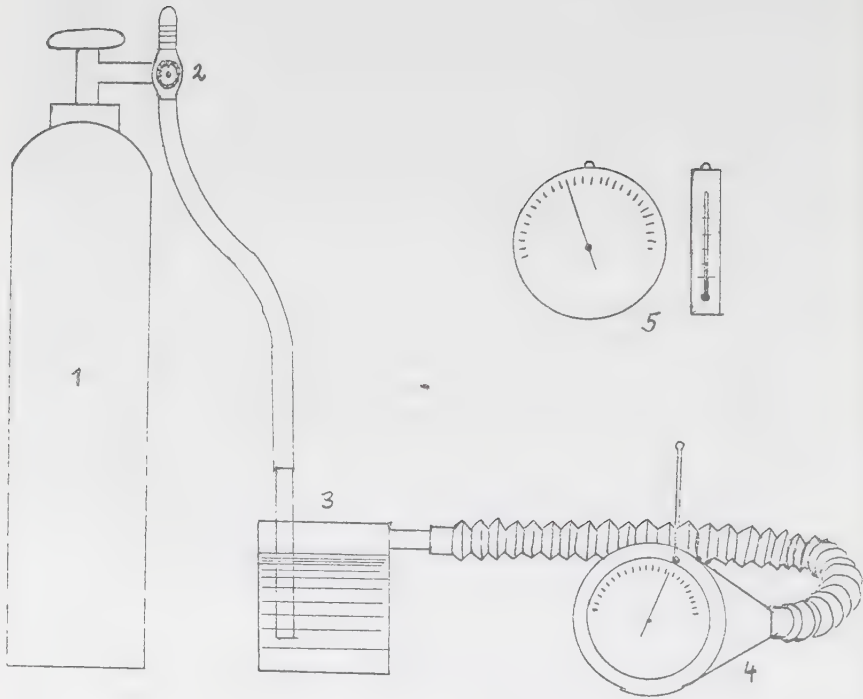


Abb.1 Versuchsanordnung 1

Messung von rel. Feuchtigkeit und Temperatur eines Gases, das ein isoliert zu verwendendes Anfeuchtergerät im offenen System durchläuft.

- 1 Sauerstoffflasche als Gasquelle
- 2 Rotameter zur Fließmengeneinstellung
- 3 Anfeuchtergerät
- 4 Trichter mit Hygro- und Thermometer als Ort der Messung
- 5 Hygro- und Thermometer der Raumgruppe zum Vergleich der Werte des Meßpunktes mit denen des umgebenden Raumes

4. der Airschioldanfeuchter,
5. der Langzeitvernebler und Injektor des Bird Mark 8-Respirators im Sauerstoffzeltverfahren,
6. der Langzeitvernebler und Injektor des Bird-Respirators im Anschluß an diesen, jedoch ohne dessen Tätigkeit als Wechseldruckbeatmer.

Zu Ziffer 5 und 6 gehören noch einige Erläuterungen. Normalerweise arbeitet der Bird-Respirator als Wechseldruckbeatmer mit einstellbaren Atemfrequenzen. Man kann jedoch auch auf einfachen Durchfluß einstellen, was lediglich zur Testung der Anfeuchterqualitäten der zugehörigen Aggregate von Bedeutung ist. Letztere können nicht isoliert getestet werden, da sie ihren, die Flüssigkeit zerstäubenden Jetstrahl direkt aus dem Respiratorteil des Gerätes beziehen. Diese Anordnung bedingt gleichzeitig, daß die zugefügte Gasmenge nicht vom Rotameter reguliert wird, sondern durch eine am Gerät befindliche Dosierungswahlscheibe, die von 5 - 40 reicht. Deren entsprechende Durchflußmengen werden unten angegeben. Die einzige Möglichkeit beide Anfeuchteraggregate isoliert zu verwenden, besteht darin, daß man den Sauerstoffstrom durch die Jetstromanschlüsse schickt, so daß sie nicht mehr den Nebenschluß bilden, sondern den Hauptstromweg. So können beide Teile auch ohne Anschluß an den Respirator vernebeln, jedoch nur bis zu einer Fließmenge von höchstens 6 Litern/min, da dann das Lumen für eine Erhöhung des Gasstroms nicht mehr weit genug ist. Letztere Methode wird vom Hersteller zur O₂-Zeltvernebelung empfohlen.

In der zweiten Versuchsreihe untersuchten wir die Effektivität derjenigen Anfeuchter, die während der Tätigkeit eines Respirators als dessen Zubehör die Aufgabe des Anfeuchtens wahrnehmen. Für einen Teil dieser Versuche

konnte die erste Versuchsanordnung übernommen werden. Das war möglich bei den volumengesteuerten Respiratoren. Bei den druckgesteuerten jedoch mußten Änderungen vorgenommen werden.

Für diese Versuchsreihe bei Respiratortätigkeit wurde auf das Schlauchsystem zurückgegriffen, das bei diesen Apparaten mitgeliefert wird und aus dünnen Kunststoffschläuchen besteht.

An dieses wurde ein Atembeutel angeschlossen um die nötigen Durckschwankungen für die Umschaltung von der In- auf die Expiration und umgekehrt zu erzeugen, die zu der einer Wechselatmung entsprechenden Tätigkeit der Respiratoren führen. Zwischen System und Atembeutel wurden Hygro- und Thermometer in einem kleinen Plastikbeutel zwischengeschaltet. So konnte wiederum an dem Ort gemessen werden, der für unsere Untersuchungen der entscheidende war.

Abbildung 2 zeigt die zweite Versuchsanordnung (s.S.23).

Nach diesem Verfahren maßen und verglichen wir die Anfeuchtungskapazität beim

1. Bennet Injektor und Cascade Humifidier,
2. beim Langzeitvernebler und Injektor des Bird und
3. beim H.N.E.Ultrasonic Nebulizer am Pulmomaten.

Weiter wurde in dieser Versuchsreihe nach der ersten Versuchsanordnung gemessen der

4. Anfeuchter im Engström bei laufendem Respirator.

Es wurden Fließmengen von 4, 6, 8 und 10 Litern/min verwendet bei einer mittleren Atemfrequenz von 15/min.

Für beide Meßreihen wurden pro Einstellung vier Versuche gemacht. Dabei wechselten die eingestellten Fließmengen und

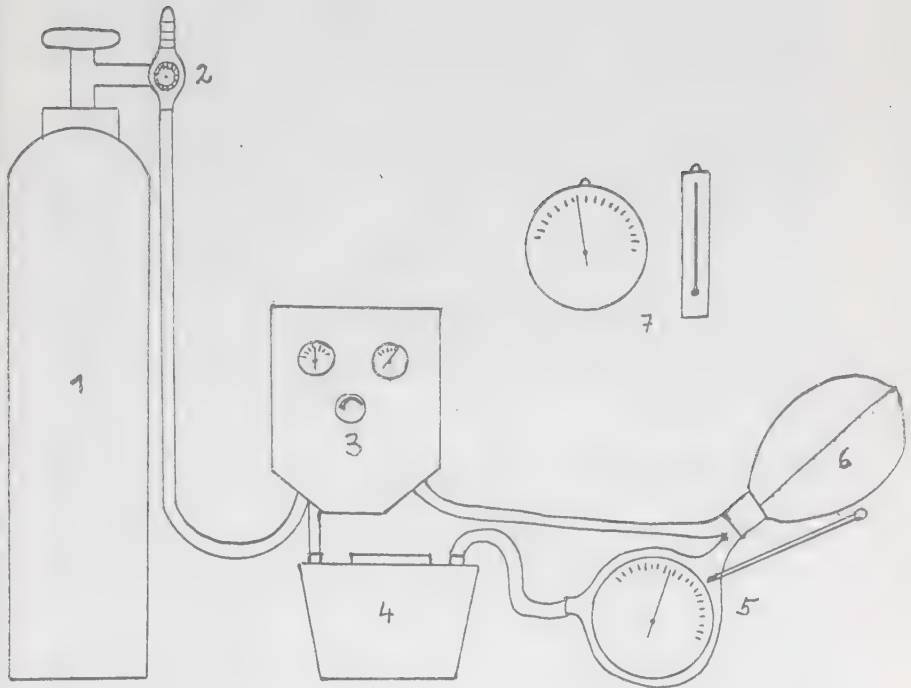


Abb.2 Versuchsanordnung 2

Messung von rel. Feuchtigkeit und Temperatur eines Gases, das ein isoliert zu verwendendes oder mit einem Respirator gekoppeltes Anfeuchtergerät im geschlossenen System durchläuft.

- 1 Sauerstoffflasche
- 2 Rotameter
- 3 Respirator
- 4 Anfeuchtergerät
- 5 Meßgruppe im Plastikbehälter
- 6 Atembeutel
- 7 Raummeßgruppe

zusätzliche Größen, wie etwa die einzelnen Heizstufen beim Bennett Cascade Humifidier, möglichst unregelmäßig, um Störgrößen auszuschalten. Beim Bennett Cascade Humifidier gingen wir z.B. so vor, daß zunächst bei einer Heizstufe alle Fließmengen von 2 bis 8 Litern aufwärts gemessen wurden und dann, zur Objektivierung des Wertes, wieder abwärts, also von 8 bis 2 Litern. Dann wurden bei konstantem Gasstrom die Heizstufen verändert und im vierten Durchgang beides durcheinander. Auf diese Weise müßte ein guter Mittelwert gefunden worden sein. Grundsätzlich wurde die Vierzahl der Versuche durchgeführt nach dem oben beschriebenen Wechsel, so daß auch nicht heizbare Anfeuchter danach untersucht wurden, mit der Modifizierung, daß schon im dritten Durchgang die Fließmengen durcheinander eingestellt wurden.

Die Messung begann mit der Kontrolle von Feuchtigkeit und Temperatur im Raum, sowie im System. Sodann wurde der Versuchsbeginn registriert, der Anfeuchter mit einer bestimmten Gasmenge beschickt und, wenn vorhanden, eine Heizstufe eingestellt. Nach einer bestimmten Zeit wurde eine erstmalige Ablesung der Feuchtigkeitswerte vorgenommen und festgehalten. Das gab Hinweise auf die Geschwindigkeit des Wertanstieges oder darauf, ob der Wert in dieser Phase des Versuches schon im Verharren war. Ein Versuch wurde dann für beendet angesehen, wenn der Wert der Feuchtigkeit 100 % rel. F. erreicht hatte oder mindestens 5 - 10 Minuten auf dem Endwert verharrete. Dann wurden die Ergebnisse für Versuchsende, Feuchtigkeit und Temperatur in Raum und System protokolliert und die Versuchsdauer festgestellt.

Abbildung 3 zeigt die Aufteilung des Protokollblattes (s.S. 25).

Insgesamt wurden etwa 400 Versuche vorgenommen, deren Ergebnisse im nächsten Abschnitt in Übersichtstabellen festgehalten und besprochen werden sollen.

Anfeuchterttyp:

Versuchsbeginn

Zeit h

Temperatur
im Raum ° C

% Feuchtigkeit
im Raum

Temperatur
im System ° C

A

B

% rel. Feuchtig-
keit im System

durchströmende
Liter O₂

Heizstufe des
Anfeuchters

% rel. Feuchtigkeit
nach Minuten

Versuchsende

Zeit h

Temperatur
im Raum ° C

% rel. Feuchtig-
keit im Raum

Temperatur
im System ° C

A

B

% rel. Feuchtig-
keit im System

Versuchsdauer min.

Versuchsergebnisse

A. Tabellarische Auswertung der Werte

In Tabelle 1 sind die gewonnenen Werte bereits als Mittelwerte aufgestellt, wonach zunächst nach der einfachen mathematischen Regel verfahren wurde, vier Werte zu summieren und durch vier zu dividieren. Das ermöglicht einen Überblick, der das gezielte Ansetzen dieses Kapitels gestattet. Die tabellarische Aufzählung aller Werte befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Anhand dieser groben Übersicht konnten wir zunächst feststellen, daß die Feuchtigkeit des Versuchsraumes zwar Schwankungen unterworfen war, jedoch waren diese gering. Während eines Versuchstages veränderten sie sich höchstens um 2 %, und das trotz laufender Apparatur und, wenigstens für die Versuchsanordnung 1, ständig ausgestoßener und frei in den Raum übertretender Feuchtigkeit. Während der Gesamtzeit der Versuche (einige Monate) lagen diese Schwankungen im Bereich von ca. 10 % rel. Feuchtigkeit. Im Mittel lag der Wert bei etwa 50 % rel. Feuchtigkeit.

Auch die Temperatur war nur geringen Schwankungen unterworfen, und lag meistens bei 17,5° C. Für unsere Versuche war also der Raum gut geeignet.

Weiter wurde festgestellt, daß innerhalb der ersten Versuchsreihe mit den isoliert arbeitenden Anfeuchtern die Methode des Engström-Anfeuchters insuffizient erschien. Eine leichte Verbesserung dieser Ergebnisse sahen wir in der zweiten Versuchsreihe, wohl infolge der Wassererwärmung durch den laufenden Motor des Respirators.

Auch der Drägersprudler kam mit 61,9 % rel. Feuchtigkeit auf unbefriedigende Werte, während der Cascade Humifidier des Bennett-Respirators schon mit seiner ersten Heizstufe, in der das Wasser auf etwa 18° C erwärmt wird, über diesen Wert hinauskam (bis maximal 79 % rel. F. bei einer Fließmenge von 8 Litern/min.). Mit zunehmender Wassererwärmung stieg die relative Feuchtigkeit des Gases, um bei der Wassertemperatur von etwa 64° C - entsprechend der Heizstufe 9 - schon bei 2 Litern/min. an die oberste Grenze der 100 % rel. Feuchtigkeit heranzukommen. Bei den anderen Heizstufen wurde dieser Wert annähernd oder ganz erreicht mit 8 Litern/min. bei der Heizstufe 3 (entsprechend einer Wassertemperatur von 33° C), mit 6 Litern/min. bei der Heizstufe 5 (Wasser = 43° C) und mit 4 Litern/min. bei der Heizstufe 7 (Wasser = 53° C). Das zeigt deutlich den die Aufsättigung mit Feuchtigkeit begünstigenden Effekt der Temperaturerhöhung.

Am effektivsten aber zeigte sich das Nebelverfahren der Birdvernebler, die im O₂-Zeltverfahren bereits ohne Temperaturerhöhung bei einem Flow von vier Litern/min. an die Grenze der 100 % rel. F. herankamen.

In der zweiten Versuchsreihe ergab sich, daß, mit Ausnahme des Engström, alle anderen Anfeuchterteile der benutzten Respiratoren voll befriedigend arbeiteten, da alle schon beim ersten Versuch mit der Fließmenge von 4 Litern/min. die 100 % rel. Feuchtigkeit erreichten. Für diese Gasmenge schien auch der Engström noch gerade mit seinen 80 % rel. F. ausreichend, jedoch sanken die Feuchtigkeitswerte mit steigenden Gasstrommengen stark ab. Gute Effekte mit dem Engström erfährt man bei der gekoppelten Verwendung mit dem H.N.E. Ultrasonic Nebulizer.

B. Statistische Auswertung

Nach der obigen Übersicht kommen wir zur Abklärung, ob statistisch gesicherte Unterschiede bezüglich der erreichten relativen Luftfeuchtheitswerte bestehen. Dazu wurden folgende Anfeuchter einer Prüfung ihrer Werte unterworfen :

1. der Bennett Cascade Humifidier mit seinen Heizstufen 1, 3, 5, 7 und 9,
2. der Drägersprudler,
3. der Bird Mark 8 Langzeitvernebler isoliert, O_2 -Zeltverfahren,
4. der Bird Mark 8 Injektor, isoliert, O_2 -Zeltverfahren,
5. der Airshieldanfeuchter.

Die übrigen Geräte entfielen, da sie sich entweder infolge ihrer unterschiedlichen Fließmengen einem Vergleich entzogen, wie z.B. Langzeitvernebler und Injektor des Bird Mark 8 im Respiratorverfahren, oder aber da sie in allen Versuchsläufen gleich 100 % rel. Feuchtigkeit hervorbrachten, d.h. keine Ergebnisunterschiede aufwiesen.

Verglichen wurden die Anfeuchter bei drei Durchflußmengen, nämlich bei 2, 4 und 6 Litern.

Zunächst wurde mit den nach Geräten und O_2 -Durchflußmengen gegliederten Meßwerten (Tab. 2) eine zweifache Varianzanalyse gerechnet, um die Frage zu beantworten, ob die Art des Geräts und die Durchflußmenge überhaupt einen statistisch erkennbaren Einfluß auf die rel. Luftfeuchtigkeit haben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt (bezüglich der methodischen Einzelheiten der Varianzanalyse sei auf (42) verwiesen.

Aus Zeile 3 in Tab. 3 ist zu sehen, daß eine statistisch gesicherte Wechselwirkung "Geräte-Durchflußmenge" vorhanden ist. Diese kann sachlich so interpretiert werden, daß bei verschiedenen Geräten die konstante Steigerung der O_2 -Menge zu unterschiedlichen Zunahmen der rel. Luftfeuchtigkeit geführt hat.

Angesichts dieser gesicherten Wechselwirkung zwischen "Gerät" und "Durchflußmenge" erscheint es nicht sinnvoll, beide Einflußgrößen isoliert zu betrachten.

Zur Erleichterung der weiteren Beurteilung der Unterschiede zwischen den in Tabelle 4 dargestellten Mittelwerten wurde ein Konfidenzintervall für Mittelwertsdifferenzen nach Tukey berechnet (zur Methode siehe ebenfalls (43)).

Es hat die Form :

$$\hat{L} - \sqrt{\frac{MAQ_R}{r}} q_{1-p/k/f} \leq L \leq \hat{L} + \sqrt{\frac{MAQ_R}{r}} q_{1-p/k/f}$$

$\hat{L}$ die zu beurteilende Mittelwertsdifferenz der Stichprobe

L die entsprechende Differenz in der Grundgesamtheit

$\frac{MAQ_R}{r}$ Varianz der Differenz

MAQ_R entspricht hier dem Wert in Zeile 4 der Varianzanalysentabelle unter MAQ .

r Anzahl der jedem Mittelwert zugrunde liegenden Einzelmessungen

$q_{1-p/k/f}$ obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereichs

$1-p$ Sicherheitswahrscheinlichkeit

k Anzahl der Mittelwerte

f Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_R

Eine Mittelwertsdifferenz $\hat{L}$ ist dann signifikant von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{MAQ_R}{r}} \quad 1-p/k/f$$

Für unseren Fall gilt :

$$MAQ_R = 2.7832$$

$$r = 4$$

$$k = 27$$

$$f = 81$$

$$90.99/27/81 \quad 6.277$$

$$\sqrt{\frac{2.7832}{4}} \times 6.277 = \underline{5.2}$$

Differenzen zwischen den in Tabelle 4 aufgeführten Mittelwerten, die den Wert 5.2 überschreiten, können deshalb als statistisch gesichert gelten.

Die gesicherte Wechselwirkung als Ergebnis der Varianzanalyse kann durch folgende aus Tabelle 4 ablesbare Befunde veranschaulicht werden :

Ein Gerät (Cascade Humifidier, Stufe 9) fällt dadurch auf, daß der Mittelwert für die rel. Luftfeuchtigkeit schon bei 2 Ltr. O₂/min nahe bei 100 % liegt, so daß bei höherem Durchfluß keine Steigerung mehr möglich ist.

Ordnet man die übrigen Geräte nach dem höchsten Wert der Luftfeuchtigkeit, die bei der niedrigsten O₂ Durchflußmenge erzielt wird, so ergibt sich folgende Reihenfolge :

Cascade Humifidiert mit seinen Heizstufen

7, 5, 3 und 1,

Drägersprudler, Airschioldanfeuchter,

Injektor und Langzeitvernebler.

Betrachtet man in Tab. 5 die Zunahme der rel. Luftfeuchtigkeit, die durch Erhöhung der O_2 -Durchflußmenge erreicht wird, so kann man zwei Typen von Geräten unterscheiden :

1.) Bei dem Airschild-Anfeuchter, sowie Injektor und Langzeitvernebler des Bird Mark 8 erfolgt, ausgehend von niedrigen Luftfeuchtigkeitswerten für 2 Liter O_2 /min. bei Erhöhung des Durchflusses auf 4 Liter eine sprunghafte Zunahme der Luftfeuchtigkeit auf etwa 100 %. Das Verhalten bei diesen Geräten ist gleichartig. Signifikante Unterschiede zwischen ihnen lassen sich nicht feststellen.

2.) Dem gegenüber weisen der Drägersprudler, sowie der Cascade Humifidier mit seinen Heizstufen 1, 3, 5 und 7 bei einer Durchflußmenge von 2 Liter eine durchweg höhere rel. Luftfeuchtigkeit auf (Mittelwerte zwischen 52 und 85%). Die Feuchtigkeitzunahme bei Erhöhung des Durchflusses auf 4 und 6 Liter erfolgt gleichartig. Jedoch werden nur von den Heizstufen 5 und 7 des Cascade Humifidier Höchstwerte nahe 100 % erreicht. In dieser Gruppe wurden bei der Heizstufe 7 im Durchschnitt die höchsten Luftfeuchtigkeitswerte gemessen. Statistisch signifikant niedriger, liegt die Heizstufe 3. Heizstufe 5 liegt zwischen beiden, kann aber nicht sicher abgegrenzt werden. Dann folgen sicher abgrenzbar mit fallenden Werten die Heizstufe 1 und der Drägersprudler. Letzterer erreicht die niedrigsten Luftfeuchtigkeitswerte.

C. Auswertung der Versuchsergebnisse unter dem Aspekt der Erwärmungsleistung

Die bisherige Betrachtungsweise der Ergebnisse richtete sich ausschließlich nach den Feuchtigkeitswerten.

Geht man von der eingangs angegebenen Forderung Rügheimers aus, der 100 % relative Feuchtigkeit bei Körpertemperatur, also 37°C für geboten ansieht, so bleibt zum Schluß die Wertung unserer Versuchsergebnisse auch im Hinblick auf die gemessenen Temperaturwerte.

Es zeigt sich, daß die Idealwerte Rügheimers unter allen getesteten Anfeuchtern nur der Bennett Cascade Humifidier erreicht. Wie aus der unten angegebenen Tabelle 6 zu ersehen ist, werden bei einer Einstellung des "Hotpot" mit der Heizstufe 9 und einer Anfeuchtungsleistung von 100 % rel. Feuchtigkeit die geforderten Temperaturen erreicht, nämlich $37,2$ und $36,2^{\circ}\text{C}$. Dies bei einer Fließmenge von 8 bzw 6 Litern. Ein Rückgang auf vier Liter ist bereits gleichbedeutend mit einem Abfall der Temperatur auf 29°C . Diese Werte gelten für die erste Versuchsanordnung.

Auch im zweiten Meßgang, d.h. am Respirator, gelingt es lediglich unter Verwendung der höheren Heizstufen des Bennett Cascade Humifidier, die geforderten Temperaturen zu bewerkstelligen. Dabei werden bei der Heizstufe 9 $35,5^{\circ}\text{C}$ erreicht. Dies bei einem Flow von acht Litern. Bei 6, 5 Litern/min fällt die Temperatur auf $30,0^{\circ}\text{C}$ ab.

Alle anderen getesteten Apparate erbrachten bei einer Anfeuchtungsleistung von 100 % rel. Feuchtigkeit maximale Temperaturen von um 20°C .

Diskussion

Ausgehend von den einleitenden Überlegungen über die Anfeuchtung, bzw. Substitution der zu Verlust gehenden Anfeuchtungsfunktionen des Nasen-Rachenraumes, gelangen wir zu einer Bewertung der getesteten Apparate.

Wir konnten mit MacIntosh berechnen, daß selbst bei intakter Nasenatmung während einer Maskenbeatmung Feuchtigkeits- und Wärmeverluste entstehen. Unter solchen Voraussetzungen erscheint die Leistung des Gerätes im Engström-Respirator als absolut unzureichend. Dies entspricht auch der Erfahrung anderer Autoren mit dem Flow-over-Prinzip (44). Dagegen kommt Laros zu dem Schluß, daß ein Sprudler eben ausreiche, um die Verluste bei Maskenbeatmung zu kompensieren. (45) Er fordert bei einer Temperatur von 25° C eine relative Feuchtigkeit von 70 %, die, wie seine Versuche ergaben, mit einer guten Sprudlerapparatur zu erreichen sind.

Der von uns getestete Drägersprudler erreicht diese Werte nicht. Wir würden daher die Verwendung des Bennett Cascade Humidifier für ideal halten, der nach dem gleichen Prinzip arbeitet, als Vorteil aber zusätzlich die Möglichkeit hat, das Atemgas zu erwärmen und so mit steigender Temperatur den Sättigungsgrad an Feuchtigkeit noch intensivieren zu können.

Mit Hinblick auf das uns besonders interessierende Thema der Substitution ausgefallener Nasen-Rachen-Raum-Funktion bei künstlicher Beatmung erscheinen aber Leistungen nach dem Sprudler-Prinzip nicht ausreichend. Wir fanden ja bei Rügheimer die Befeuchtungsgröße des erwähnten Raumes mit etwa 570 g/d, angegeben. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Ingelstedt, der die Verluste bei Nasenatmung mit

530 g/d, bei Mundatmung mit 590 g/d bestimmte und darüber hinaus untersuchte, wieviel Wasser pro Tag der Atemluft eines Tracheotomierten hinzugefügt werden muß (46). Da dessen Anfeuchtungsleistung mittels des Tracheobronchialbaumes auf etwa 130 g/d berechnet werden kann, würde ein Wasserverlust von 460 g/d substituiert werden müssen (47), nach Rügheimers Bestimmung 440 g/d. Diese enormen Mengen sind natürlich mit einem Sprudler nicht zu erreichen. Hier ist die Anwendung der schon bei relativ niedrigen Fließmengen 100 % rel. Feuchtigkeit liefernden Nebulisatoren dringend indiziert, wobei Laros der Meinung ist, daß eine relativ hohe Feuchtigkeit wichtiger ist als eine hohe Temperatur, da beim Einatmen von Nebel, der ja als Wasserdampf in übersättigter Form definiert werden kann, dieser mit steigender Temperatur im Respirationstrakt schnell verdampfen wird (48).

Wenn wir aber annehmen, daß die meisten, eine künstliche Beatmung erfordernden Zustände mit einem Erliegen der Muskularbeit einhergehen, die wir mit MacIntosh als einen Hauptlieferanten der Körperwärme ansprechen (siehe oben), dann erscheint uns der Aspekt der Erwärmung des Atemgases von besonderer Bedeutung, beispielsweise während Intubationsnarkosen an älteren Patienten wegen der latenten Schockgefahr (49). Generell sollte die Forderung nach gleichzeitiger Erwärmung des Atemgases erhoben werden. Unserer Meinung nach ist hierfür der Bennett Cascade Humifidier isoliert oder in Verbindung mit dem Respirator am besten geeignet. Von allen getesteten Geräten brachte er als einziger mit seinen höheren Heizstufen die gewünschten Werte von 100 % rel. Feuchtigkeit bei annähernder Körpertemperatur.

Zusammenfassend möchten wir die Bewertung aller getesteten Anfeuchter mit einer Einteilung in drei Gruppen vor-

nehmen, wobei nach strengsten Maßstäben vorgegangen werden soll.

So bezeichnen wir die in der Gruppe I aufgezählten Geräte bewußt als insuffizient, da sie weder 100 % relative Feuchtigkeit, noch annähernd Körpertemperaturwerte erbringen. Hier wären der Engströmanfeuchter, der Drägersprudler und die erste Heizstufe des Bennett Cascade Humifidier zu nennen. Die maximal erreichten Werte sind aus Tabelle 7 zu ersehen.

Die Gruppe II faßt die teilweise suffizienten Anfeuchter zusammen, die zwar annähernd oder vollständig 100 % relative Feuchtigkeit erreichen, aber keine Werte um 37°C . Hier wären die Heizstufen 1 bis 7 des Bennett Cascade Humifidier aufzuzählen, sowie Langzeitvernebler und Injektor des Bird Mark 8 im O_2 -Zelt- und Respiratorverfahren. Auch der Airschieldanfeuchter gehört in diese Gruppe, sowie der H.N.E. Ultrasonic Nebulizer.

Die Gruppe III schließlich beinhaltet als einziges, vollsuffizientes, weil 100 % relative Feuchtigkeit und annähernd Körpertemperaturwerte produzierendes Gerät den Bennett Cascade Humifidier mit seiner Heizstufe 9.

Diese Einteilung erlaubt es, den Anwendungsbereich der Geräte exakten Indikationen zuzuordnen.

Alle Geräte der Gruppe I sollten in der modernen Anästhesie nicht verwendet werden.

Die Geräte der Gruppe II sollten Kurznarkosen vorbehalten bleiben oder bei Maskenbeatmung benutzt werden. Dies auch nur bei jüngeren Patienten mit intakter Nasen-Rachen-Funktion. Bei allen größeren Eingriffen mit Intubation,

bei allen Patienten mit Tracheostoma, sowie bei gefährdeten oder sonst in körperlich schlechtem Zustand befindlichen Personen ist die Anwendung eines Gerätes der Gruppe III indiziert.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Geräte getestet, die in der Anästhesie eingesetzt werden zur Befeuchtung, teilweise auch zur Erwärmung eines Gasgemisches, das intubierten oder tracheotomierten Patienten zugeführt wird unter Umgehung des Nasen-Rachenraumes.

Getestet wurden Geräte mit dem Flow-over-Prinzip (Anfeuchterteil des Engström-Respirators),
mit dem Flow-Through-Prinzip (Drägersprudler, Bennett Cascade Humifidier (letzterer verfügt über eine Erwärmungsvorrichtung)),
mit dem Zerstäuber-Prinzip (Airschield-Anfeuchter, Langzeitvernebler und Injektor des Bird Mark 8) und
mit dem Prinzip der Überschallvernebler (H.N.E. Ultrasonic Nebulizer).

Die Versuchsanordnung war so konzipiert, daß ein Gasstrom, nach Regulation durch ein Flowmeter, durch den Anfeuchter geleitet wurde. Gemessen wurden % relative Feuchtigkeit und ° C des Gasgemisches in einer offenen Kammer im offenen System und in einer geschlossenen Kammer im geschlossenen System am Respirator.

Als Idealwerte wurden nach Rügheimer 100 % rel. Feuchtigkeit und 37° C gefordert.

Die Ergebnisse ließen eine Einteilung der getesteten Apparate in drei Gruppen zu :

Gruppe I : insuffiziente Geräte, da weder 100 % rel. Feuchtigkeit, noch 37° C erreicht wurden.

Gruppe II : teilsuffiziente Geräte, die zwar keine Körpertemperatur, aber 100 % rel. Feuchtigkeit erbrachten.

Gruppe III : voll suffiziente Geräte, die sowohl 100 % rel. Feuchtigkeit, als auch 37° C bewerkstelligten.

Zur Gruppe I :

Diese Anfeuchter sollten in der modernen Anästhesie nicht benutzt werden. Unter den getesteten Apparaten sind zu nennen der

Anfeuchterteil des Engström und der Dräger-Sprudler.

Zur Gruppe II :

Anfeuchter dieser Gruppe sollten nur für Kurznarkosen bei intakter Funktion des Nasen-Rachen-Raumes (also Maskenbeatmung) verwendet werden. Unter diese Gruppe fallen der

Airschield-Anfeuchter,

Langzeitvernebler und Injektor des Bird Mark 8,

Bennett Cascade Humividier mit seinen unteren Heizstufen sowie

H.N.E. Ultrasonic Nebulizer

Zur Gruppe III :

Lediglich Geräte dieser Gruppe sollten bei Narkosen oder bei Dauerbeatmung durch einen Tubus oder ein Tracheostoma Verwendung finden. Einziger Apparat unter allen getesteten Geräten, der obige Idealwerte erreichte, war der

Bennett Cascade Humifidier mit seiner obersten Heizstufe.

Mit Hinblick auf das Gros der Geräte, die nur unter die zweite Kategorie fallen, sollte deshalb generell die Forderung nach einer Erwärmungsvorrichtung am Anfeuchteraggregat erhoben werden.

A N H A N G

Tabellen und Definitionen

Tabelle 1 :

Meßergebnisse beider Versuchsreihen nach Geräten und Fließmengen geordnet. Einzelwerte als Mittelwerte aus Summierung von vier Werten und Dividierung durch vier.

Versuchsreihe 1

Liter O ₂	Heiz- stufe	AF	Feuchtig- keit % rel.F.	Temperatur °C A B	Anfeuchter Bemerkungen
4	-	-	49,2	$\frac{16,0}{17,0}$	Engströmanfeuchter Versuchsanordnung 1
6	-	-	47,7	$\frac{16,0}{17,0}$	
8	-	-	50,3	$\frac{16,0}{17,0}$	
10	-	-	49,8	$\frac{16,0}{17,0}$	
2	-	-	52,0	$\frac{15,6}{18,4}$	Drägersprudler Versuchsanordnung 1
4	-	-	58,0	$\frac{14,5}{18,5}$	
6	-	-	61,7	$\frac{13,6}{18,4}$	
8	-	-	61,9	$\frac{12,5}{18,4}$	
2	1	-	63,-	$\frac{18,7}{18,5}$	Bennett Cascade Humidifier
4	1	-	73,3	$\frac{18,4}{18,2}$	Versuchsanordnung 1
6	1	-	77,7	$\frac{18,2}{18,6}$	Wassertemperatur der Heizstufe 1 = 18° C
8	1	-	78,9	$\frac{18,2}{18,5}$	
2	3	-	74,7	$\frac{26,4}{19,1}$	
4	3	-	86,1	$\frac{25,1}{19,0}$	Wassertemperatur der Heizstufe 3 / 33° C
6	3	-	90,4	$\frac{26,2}{19,7}$	
8	3	-	95,4	$\frac{27,0}{21,0}$	

Tabelle 1 (Fortsetzung) :

Versuchsreihe 1

Liter O ₂	Heiz- stufe	AF	Feuchtig- keit % rel.F.	Temperatur °C $\frac{A}{B}$	Anfeuchter Bemerkungen
2	5	-	78,4	$\frac{35,9}{19,2}$	Wassertemperatur der Heizstufe 5 = 43° C
4	5	-	89,9	$\frac{35,5}{19,5}$	
6	5	-	96,2	$\frac{35,6}{22,6}$	
8	5	-	99,7	$\frac{35,6}{22,1}$	
2	7	-	84,6	$\frac{45,1}{19,2}$	Wassertemperatur der Heizstufe 7 = 53° C
4	7	-	95,5	$\frac{46,1}{20,8}$	
6	7	-	100	$\frac{45,9}{26,9}$	
8	7	-	100	$\frac{46,1}{26,2}$	
2	9	-	96,4	$\frac{62,7}{23,5}$	Wassertemperatur der Heizstufe 9 = 64° C
4	9	-	100	$\frac{60,8}{29,1}$	
6	9	-	100	$\frac{60,9}{36,2}$	
8	9	-	100	$\frac{60,8}{37,2}$	
2	-	-	44,9	$\frac{13,5}{16,0}$	Bird Mark 8 Langzeitvernebler
4	-	-	99,9	$\frac{13,0}{16,0}$	O ₂ -Zeltverfahren Versuchsanordnung 1
6	-	-	100	$\frac{12,8}{15,8}$	
2	-	-	47,1	$\frac{12,9}{15,7}$	Bird Mark 8 Injektor
4	-	-	97,2	$\frac{10,1}{15,1}$	O ₂ -Zeltverfahren Versuchsanordnung 1
6	-	-	100	$\frac{9,2}{14,7}$	

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Versuchsreihe 1

Liter O ₂	Heiz- stufe	AF	Feuchtig- keit % rel.F.	Temperatur °C A B	Anfeuchter Bemerkungen
9 ⁺	-	-	100	$\frac{11,4}{14,7}$	Bird Mark 8 Langzeitvernebler am Respirator
14 ⁺	-	-	100	$\frac{10,1}{14,4}$	Versuchsanordnung 1
9 ⁺	-	-	97,0	$\frac{8,2}{15,2}$	Bird Mark 8 Injektor am Respirator
12 ⁺	-	-	100	$\frac{7,8}{16,5}$	Versuchsanordnung 1
14 ⁺	-	-	49,8	$\frac{18,0}{18,5}$	
4	-	-	98	$\frac{15,2}{15,8}$	Airschildanfeuchter
6	-	-	100	$\frac{14,8}{15,1}$	Versuchsanordnung 1
8	-	-	100	$\frac{14,5}{15,5}$	

⁺ Die Gasstrommenge am Bird Mark 8 wird mittels einer Dreh-
skala reguliert und nicht vom Rotameter aus eingestellt.
Die Skala hat eine Einteilung von 5 bis 40. Messungen mit
einem Flowmeter ergaben für die einzelnen Einstellungen
folgende Gasmengen:

Skalenwert	5	entspricht	etwa	19	Liter/min.
"	7	"	"	12	"
"	10	"	"	14	"
"	15	"	"	16	"
"	20	"	"	18	"

Tabelle 1 (Fortsetzung) :

Versuchsreihe 2

Liter O ₂	Heiz- stufe	AF	Feuchtig- keit % rel.F.	Temperatur °C $\frac{A}{B}$	Anfeuchter Bemerkungen
4	-	15	80,0	$\frac{-}{20,1}$	Engström Respiratorverfahren
6	-	15	69	$\frac{-}{20,0}$	Versuchsanordnung 1
8	-	15	57,5	$\frac{-}{19,8}$	
10	-	15	51,0	$\frac{-}{19,5}$	
4	-	14	100	$\frac{-}{17,1}$	H.N.E. Ultrasonic Nebulizer
5	-	14	100	$\frac{-}{15,6}$	Pulmomat
7,2	-	14	100	$\frac{-}{17,3}$	Versuchsanordnung 2
9,8	-	14	100	$\frac{-}{16,0}$	
3	-	14	100	$\frac{-}{17,5}$	Bennett Respirator- verfahren +)
5,2	-	14	100	$\frac{-}{16,0}$	Injektor +)
7	-	14	100	$\frac{-}{16,8}$	Versuchsanordnung 2
9,5	-	14	100	$\frac{-}{16,0}$	weitere Versuche mit 11, 15,18,u.19 l/min.ergaben alle 100 % rel.F.
3,5	1	14	99,2	$\frac{19,5^{++}}{19,2}$	Bennett Respiratorver- fahren Cascade
3,5	3	14	100	$\frac{33,0}{19,0}$	Humifidier
3,5	5	14	100	$\frac{43,0}{19,5}$	Versuchsanordnung 2
3,5	7	14	100	$\frac{53,0}{20,5}$	
3,5	9	14	100	$\frac{63,0}{28,5}$	

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Versuchsreihe 2

Liter O ₂	Heiz- stufe	AF	Feuchtig- keit % rel.F.	Temperatur °C A B	Anfeuchter Bemerkungen
6,5	1	14	100	$\frac{19,0}{19,0}$	
6,5	3	14	100	$\frac{33,0}{19,5}$	
6,5	5	14	100	$\frac{43,0}{23,0}$	
6,5	7	14	100	$\frac{53,0}{30,0}$	
6,5	9	14	100	$\frac{63,0}{29,6}$	
8	1	14	100	$\frac{18,5}{18,5}$	
8	3	14	100	$\frac{24,0}{20,0}$	
8	7	14	100	$\frac{53,0}{29,0}$	
8	9	14	100	$\frac{63,0}{29,0}$	
4,2	-	11	100	$\frac{-}{15,3}$	Bird Mark 8 Respiratorverfahren Langzeitvernebler
5,1	-	12	100	$\frac{-}{17,4}$	Versuchsanordnung 2
6,4	-	10	100	$\frac{-}{17,0}$	
6,8	-	11	100	$\frac{-}{17,0}$	
3,9	-	11	98,7	$\frac{-}{17,0}$	Bird Mark 8 Respiratorverfahren Injektor
5,6	-	12	100	$\frac{-}{17,0}$	Versuchsanordnung 2
0,2	-	11	100	$\frac{-}{17,0}$	
1,1	-	10	100	$\frac{-}{17,0}$	

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Versuchsreihe 2 (Anmerkungen)

++ In dieser Versuchsreihe gibt der Wert unter A die Wärme des Wassers im Anfeuchter an.

- +
- Der Injektor des Bennet-Respirators kann während der einzelnen Atemphasen veränderlich vernebeln,
1. im Inspirium, d.h. der Nebel entsteht während des Einatmens,
 2. im Expirium, d.h. während der Ausatmung, so daß für das folgende Inspirium schon die maximale Nebelmenge zur Verfügung steht und
 3. in beiden Atemphasen durchgehend.

Alle Phasen wurden einzeln mit jeweils 4 Versuchen durchgeprüft und ergaben für die jeweiligen Gasmengen übereinstimmende Werte.

Tabelle 2

Meßwerte nach Geräten und O₂-Durchfluß gegliedert.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	520	470	610	740	780	830	950	460	435
2	525	510	640	770	800	870	980	480	450
2	525	500	650	735	770	840	960	475	450
2	530	510	620	745	785	845	965	470	460
4	590	920	720	840	895	950	1000	975	1000
4	575	1000	750	900	935	980	1000	970	1000
4	570	1000	760	840	875	940	1000	970	995
4	585	1000	720	865	890	950	1000	975	1000
6	635	1000	740	915	965	1000	1000	1000	1000
6	615	1000	770	920	985	1000	1000	1000	1000
6	610	1000	820	880	940	1000	1000	1000	1000
6	610	1000	780	900	960	1000	1000	1000	1000

Spalte 1 : O₂-Durchflußmengen

Spalte 2 : Versuchsnummer

1 = Drägersprudler

2 = Airschieldanfeuchter

3 = Bennett Cascade Humifizier Heizstufe 1

4 = " " " " 3

5 = " " " " 5

6 = " " " " 7

7 = " " " " 9

8 = Bird Mark 8 Injektor, isoliert, O₂-Zelverfahren

9 = Bird Mark 3 Langzeitvernebler, isoliert, O₂-Zeitverfahren

Tabelle 3 :
Varianzanalysentabelle

Faktoren u. Wech- selwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	Beurteilung ++ signif.
Geräte	14013.5417	8	1751.6927	629,39	++
Durchfluß	14626.1667	2	7313.0833	2627,60	++
Geräte- Durchfluß	9375.0833	16	585.9427	210,53	++
Rest	225.4375	81	2.7832		

Tabelle 4 :
Gliederung der Mittelwerte für die rel. Feuchtigkeit nach
Geräten und Durchflußmenge.

	Geräte								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	52,5	49,75	63,0	74,75	78,375	84,625	96,375	47,125	44,875
2	58,0	98,0	73,75	86,125	89,875	95,5	100,0	97,25	99,875
3	61,75	100,0	77,75	90,375	96,25	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 5 :
Zunahme der rel. Feuchtigkeit (in %) bei Erhöhung des O₂ Durch-
flusses bezogen auf die Werte bei 2 Liter/min. (= 100%)

	Geräte							
	1	2	3	4	5	6	8	9
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	111	197	117	115	115	113	206	223
3	118	201	123	121	123	118	212	223

Tabelle 6 :

Die getesteten Anfeuchter unter dem Aspekt der Erwärmungsleistung am Ort der Messung bei 100 % rel. Feuchtigkeit.

Anfeuchter	Fließmenge (l)	Temperatur (°C)	Atemfrequenz
Versuchsanordnung 1			
Bennett Cascade			
Humifidier			
Heizstufe 9	8	37,2	entfällt
Heizstufe 9	6	36,2	"
Heizstufe 9	4	29,1	"
Heizstufe 7	6	26,9	"
Heizstufe 7	8	26,2	"
Bird Mark 8			
Langzeitvernebler	6	15,8	"
O ₂ -Zeltverfahren			
Injektor	6	14,7	"
O ₂ -Zeltverfahren			
Airschield	8	15,5	"
"	6	15,1	"
Versuchsanordnung 2			
Bennett Cascade			
Humifidier			
Heizstufe 9	8	35,5	14
Heizstufe 7	6,5	30,0	14
Heizstufe 5	6,5	23,0	14
Heizstufe 3	8	20,0	14
Bennet Respirator			
Injektor	3,5	17,5	14
Bird Mark 8			
Respirator	5,1	17,4	12
Langzeitvernebler			
Injektor	8,1	17,0	12
H.N.E. Ultrasonic			
Nebulizer am	7,2	17,3	14
Pulmonat			

Tabelle 7 :

Bewertung aller getesteten Anfeuchter in Gruppen nach Leistung auf dem Anfeuchtungs- und Erwärmungssektor.

Anfeuchtertyp	max. Anfeuchtung in % rel. F.		max. Erwärmung in °C	
	1	2	1	2
<u>Gruppe I</u>	insuffiziente Anfeuchter, die weder 100 % rel.F. erreichen, noch annähernd Körpertemperatur			
Engströmanfeuchter	50	80	17	20,1
Drägersprudler	61,9		18,4	
Bennett Cascade Humifidier				
Heizstufe 1	78,9		18,6	
<u>Gruppe II</u>	teilsuffiziente Anfeuchter, die annähernd oder ganz 100 % rel.F. erreichen, aber nicht Körpertemperatur			
Bennett Cascade Humifidier				
Heizstufe 1		100		19,2
Heizstufe 3	95,4	100	21,0	20,0
Heizstufe 5	99,7	100	22,6	19,0
Heizstufe 7	100	100	26,9	20,0
Bird Mark 8				
Langzeitvernebler	100		16,0	
O ₂ -Zeltverfahren				
Injektor	100		15,7	
Respiratorverfahren				
Langzeitvernebler	100	100	15,7	17,0
Injektor	100	100	16,5	17,0
Airschildanfeuchter	100		15,5	
H.N.E. Ultrasonic Nebulizer		100		17,3
<u>Gruppe III</u>	voll suffiziente Anfeuchter, die sowohl 100 % rel.F., als auch annähernd oder ganz Körpertemperatur erreichen			
Bennett Cascade Humifidier				
Heizstufe 9	100	100	37,2	35,5

Die folgenden Tabellen 8 - 21 geben eine Aufstellung aller gemessenen Einzelwerte

Tabelle 8

ENGSTRÖM, Aufeuchter im offenen System nach Versuchsanordnung I

Liter	Feuchtigkeit tel. %	Temperatur °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
4	58,0	A	$\frac{18,0}{18,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{(16,2)}{(17,2)}$
	49,0	B	$\frac{18,0}{18,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$
6	62,5	A	$\frac{17,5}{17,5}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{(16,4)}{(17,1)}$
	49,0	B	$\frac{17,5}{17,5}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$
8	58,0	A	$\frac{16,5}{17,5}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{(16,1)}{(17,1)}$
	50,0	B	$\frac{16,5}{17,5}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$
10	54,0	A	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{(16,0)}{(17,0)}$
	48,5	B	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$	$\frac{16,0}{17,0}$

+) Wert aus drei Messungen, da jeweils die erste Messung offenbar falsch (vermutlich Temperatur H₂O durch vorher laufenden Motor zu hoch). In Klammern Wert aus allen Messungen.

Tabelle 9

DRÄGER-Sprudler nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperatur °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
2	52,0	A	$\frac{18,5}{18,5}$	$\frac{14,0}{18,5}$	52,0
	53,0	B	$\frac{18,5}{18,5}$	$\frac{14,5}{18,5}$	
4	59,0	A	$\frac{16,5}{18,5}$	$\frac{14,0}{18,5}$	58,0
	57,0	B	$\frac{18,5}{18,5}$	$\frac{14,5}{18,5}$	
6	63,5	A	$\frac{15,0}{18,5}$	$\frac{13,5}{18,5}$	61,7
	61,0	B	$\frac{18,5}{18,5}$	$\frac{13,6}{18,4}$	
8	64,0	A	$\frac{13,5}{18,2}$	$\frac{12,0}{18,5}$	61,9
	61,5	B	$\frac{18,2}{18,2}$	$\frac{12,5}{18,4}$	

BENNET-Cascade Humifidrier nach Versuchsanordnung I

Heiz- Stufe	Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C						Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
1	2	61,0 65,0	A B	18,5 18,5	18,5 18,5	19,0 18,5	19,0 18,5	18,7 18,5	63,0	
1	4	72,0 76,0	A B	18,0 18,5	18,0 18,0	18,0 18,0	18,0 18,0	18,4 18,2	73,3	
1	6	74,0 82,0	A B	18,0 18,5	18,5 19,0	18,0 19,0	18,5 18,5	18,2 18,6	77,7	
1	8	76,0 84,0	A B	18,0 18,3	17,5 18,3	19,0 19,0	18,5 18,5	18,2 18,5	78,9	
3	2	74,0 73,5	A B	27,0 18,5	26,5 19,0	26,0 19,0	26,0 18,5	26,4 18,7	74,7	
3	4	84,0 84,0	A B	26,0 19,0	25,5 19,0	23,0 19,0	26,0 19,0	25,1 19,0	86,1	
3	6	91,5 88,0	A B	26,5 20,5	27,5 20,5	25,0 19,0	26,0 19,5	26,2 19,7	90,4	
3	8	95,5 95,0	A B	27,5 20,5	27,5 21,0	26,0 20,0	27,0 20,5	27,0 21,0	95,4	
5	2	78,0 77,0	A B	36,0 19,5	36,0 19,0	35,5 19,0	36,0 19,5	35,9 19,2	78,4	
5	4	89,5 87,5	A B	36,0 19,5	34,0 20,0	36,0 19,5	36,0 19,5	35,5 19,5	89,9	
5	6	96,5 94,0	A B	35,0 21,0	35,5 21,5	37,0 25,0	35,0 22,0	35,6 22,6	96,2	
5	8	100,0 99,0	A B	35,0 22,0	35,5 23,0	36,5 21,5	35,5 22,0	35,6 22,1	99,7 (100,0)	
7	2	83,0 84,0	A B	47,5 19,0	46,0 19,5	46,5 19,0	46,0 19,5	45,1 19,2	84,6	
7	4	95,0 94,0	A B	45,5 20,5	45,0 21,5	48,0 20,5	46,0 20,5	46,1 20,8	95,5	
7	6	100,0 100,0	A B	46,5 24,0	45,0 27,0	46,0 29,0	46,0 27,5	45,9 26,9	100,0	
7	8	100,0 100,0	A B	46,0 26,0	45,5 28,5	47,0 24,5	46,0 26,0	46,1 26,2	100,0	
9	2	95,0 96,0	A B	63,0 22,0	62,0 26,0	63,5 24,0	62,5 22,0	62,7 23,5	96,4	
9	4	100,0 100,0	A B	61,0 29,0	60,0 33,0	61,0 29,5	61,0 29,5	60,8 29,1	100,0	
9	6	100,0 100,0	A B	60,5 36,0	61,0 37,0	61,0 36,0	61,0 36,0	60,2 36,2	100,0	
9	8	100,0 100,0	A B	60,0 38,0	62,0 36,0	60,5 36,5	60,8 36,5	60,8 37,2	100,0	

Tabelle 11
BIRD MARK 8, Langzeitvernebler, ohne Respirator nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
2	43,5	A	$\frac{14,0}{16,0}$	$\frac{13,5}{16,0}$	44,9
	45,0	B	$\frac{13,5}{16,0}$	$\frac{13,0}{16,0}$	
4	100,0	A	$\frac{14,0}{16,0}$	$\frac{12,5}{16,0}$	99,9
	99,5	B	$\frac{13,0}{16,0}$	$\frac{12,5}{16,0}$	
6	100,0	A	$\frac{13,0}{15,0}$	$\frac{12,5}{16,0}$	100,0
	100,0	B	$\frac{13,0}{16,0}$	$\frac{12,8}{15,8}$	
8 +)					

+) Bei dieser Anordnung konnte nur ein Durchfluß von höchstens 6 Litern/min erreicht werden (Düsenwiderstand).

Tabelle 12
BIRD MARK 8, Injektor, ohne Respirator nach Versuchsanordnung I, O₂-Zeltverfahren

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
2	46,0	A	$\frac{13,0}{17,0}$	$\frac{12,5}{15,5}$	47,1
	47,5	B	$\frac{13,0}{15,0}$	$\frac{13,0}{15,5}$	
4	97,5	A	$\frac{10,0}{15,0}$	$\frac{10,0}{15,5}$	97,2
	97,0	B	$\frac{10,0}{15,0}$	$\frac{10,1}{15,1}$	
6	100,0	A	$\frac{9,5}{15,0}$	$\frac{9,5}{15,0}$	100,0
	100,0	B	$\frac{9,5}{14,0}$	$\frac{9,2}{14,7}$	

Tabelle 13

BIRD MARK 8, Langzeitvernebler, mit Respirator nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C	Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
9 +)	100 100	A $\frac{13,5}{19,0}$ B $\frac{11,0}{15,0}$	$\frac{10,5}{14,5}$	$\frac{10,5}{14,5}$
14 +)	100 100	A $\frac{12,0}{16,0}$ B $\frac{9,5}{14,0}$	$\frac{9,5}{13,5}$	$\frac{9,5}{14,0}$
20 +)	100 100	A $\frac{11,0}{14,5}$ B $\frac{9,5}{14,0}$	$\frac{9,5}{13,5}$	$\frac{9,0}{13,5}$
35 +)	100 100	A $\frac{9,0}{13,0}$ B $\frac{8,5}{13,0}$	$\frac{7,5}{12,5}$	$\frac{7,0}{11,5}$

+) Der BIRD hat keine direkte Einteilung der fließenden Gasmenge nach Litern. Er reguliert nur die Fließgeschwindigkeit des zugeführten Gasgemisches anhand einer Drehskala von 5 - 40.

Messungen mit einem Fluometer ergaben dafür folgende Litermengen O₂:

Stellenwert	5	entspricht	9	(genau 9,1) Litern O ₂
"	7	"	12	(11,65)
"	10	"	14	(14,3)
"	15	"	16	(15,7)
"	20	"	18	(18,0)
"	25	"	20	(20,1)
"	30	"	23	(23,4)
"	35	"	26	(26,55)
"	40	"	35	(35,15)

Tabelle 14

BIRD MARK 8, Injektor, mit Respirator nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
9	96,5	A	$\frac{8,0}{17,0}$	$\frac{8,2}{15,2}$	97,0
	98,0	B	$\frac{8,0}{14,5}$	$\frac{8,5}{14,5}$	
12	98,5	A	$\frac{8,5}{14,5}$	$\frac{7,2}{14,0}$	99,0
	100,0	B	$\frac{8,0}{15,0}$	$\frac{7,0}{14,5}$	
14	100	A	$\frac{8,0}{14,5}$	$\frac{7,0}{14,5}$	100
	100	B	$\frac{7,0}{13,5}$	$\frac{7,2}{14,0}$	
20	100	A	$\frac{7,0}{14,0}$	$\frac{6,2}{13,5}$	100
	100	B	$\frac{6,5}{13,5}$	$\frac{6,6}{13,4}$	
35	100	A	$\frac{6,5}{13,0}$	$\frac{6,0}{13,5}$	100
	100	B	$\frac{6,0}{13,5}$	$\frac{6,1}{13,1}$	

Tabelle 15

AIRSCFIELD-Anfeuchter nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperatur rel. %	Temperaturen °C	Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
2	47, 50	51	A $\frac{18,5}{19,0}$ $\frac{18,0}{18,0}$ $\frac{18,0}{18,5}$ $\frac{17,5}{18,0}$	$\frac{18,0}{18,5}$	49,8
4	92 100	100	A $\frac{17,0}{17,0}$ $\frac{16,0}{16,5}$ $\frac{14,0}{14,5}$ $\frac{14,0}{15,0}$	$\frac{15,2}{15,8}$	98
6	100 100	100	A $\frac{14,5}{15,0}$ $\frac{15,0}{15,0}$ $\frac{15,0}{15,5}$ $\frac{14,5}{15,0}$	$\frac{14,8}{15,1}$	100
8	100 100	100	A $\frac{15,0}{16,0}$ $\frac{14,5}{15,5}$ $\frac{14,0}{15,0}$ $\frac{14,0}{15,0}$	$\frac{14,5}{15,5}$	100

Tabelle 16

ENGSTRÖM im Respirometerverfahren nach Versuchsanordnung I

Liter O ₂	Feuchtigkeit	Temperaturen °C	Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
10	47 51	52 54	A $\frac{19,5}{19,5}$ $\frac{21,0}{19,5}$ $\frac{21,0}{19,5}$ $\frac{21,0}{19,5}$	$\frac{20,6}{19,5}$ 51
8	60 55	60 55	A $\frac{18,5}{18,5}$ $\frac{21,0}{21,0}$ $\frac{18,5}{18,5}$ $\frac{21,0}{21,0}$	$\frac{19,8}{19,8}$ 57,5
6	72 65	70 69	A $\frac{18,0}{18,0}$ $\frac{20,5}{20,5}$ $\frac{20,0}{20,0}$ $\frac{21,5}{21,5}$	$\frac{20,0}{20,0}$ 69
4	84 80	79 77	A $\frac{18,5}{18,5}$ $\frac{20,0}{20,0}$ $\frac{21,0}{21,0}$ $\frac{21,0}{21,0}$	$\frac{20,1}{20,1}$ 80

Tabelle 17

HNE Ultrasonik, Nebulizer, 3		nach Versuchsanordnung II			
Liter (2	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
4 (14) +)	100 100	A 17,0 B 17,0	17,0	17,5	17,1
5 (14)	100 100	A 15,5 B 15,5	15,5	15,5	15,6
7,2 (14)	100 100	A 17,5 B 17,5	17,0	17,0	17,0
9,8 (14)	100 100	A 16,0 B 16,0	16,0	16,0	16,0
+) Atemfrequenz					

Tabelle 18

BENNETT-Injektor, am Respirator nach Versuchsanordnung II				
Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C	Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
3	100	A	—	100
	100	B	—	
5,2	100	A	—	100
	100	B	—	
7	100	A	—	100
	100	B	—	
9,5	100	A	—	100
	100	B	—	

weitere Versuche mit Literzahlen von 11, 15, 18, 19 ergaben alle 100% rel. F.
 AF für alle Versuche = 14/min.

Tabelle 19

BENNET-Gascade Humidifier, am Respirator, nach Versuchsanordnung II

Heiz- stufe	Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
1	3,5	100	99,0	A 19,5 B 19,4	19,5 19,2	99,2
1	6,5	100	100	A 19,0 B 18,7	19,0 18,8	100
1	8	100	100	A 18,5 B 18,2	18,5 18,1	100
3	3,5	100	100	A 33,0 B 33,0	33,0 33,0	100
3	6,5	100	100	A 33,0 B 33,0	33,0 33,0	100
3	8	100	100	A 33,0 B 33,0	33,0 33,0	100
5	3,5	100	100	A 43,0 B 43,0	43,0 43,0	100
5	6,5	100	100	A 43,0 B 43,0	43,0 43,0	100
5	8	100	100	A 43,0 B 43,0	43,0 43,0	100
7	3,5	100	100	A 53,0 B 53,0	53,0 53,0	100
7	6,5	100	100	A 53,0 B 53,0	53,0 53,0	100
7	8	100	100	A 53,0 B 53,0	53,0 53,0	100
9	3,5	100	100	A 63,0 B 63,0	63,0 63,0	100
9	6,5	100	100	A 63,0 B 63,0	63,0 63,0	100
9	8	100	100	A 64,0 B 64,0	64,0 64,0	100

AF / 14-15/min

Tabelle 20

BIRD MARK 8, Langzeitvernebler, am Respirator nach Versuchsanordnung II

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
4,2 (11) +)	100 100	A 13,5 B 18,0	14,0 17,5	13,9 15,5	100
5,1 (12)	100 100	A 14,0 B 18,0	14,0 17,0	14,0 17,4	100
6,4 (10)	100 100	A 16,0 B 17,0	13,5 17,0	14,4 17,0	100
6,8 (11)	100	A B	14,0 17,0	14,0 17,0	100

Tabelle 21

BIRD MARK 8, Injektor, am Respirator, nach Versuchsanordnung II

Liter O ₂	Feuchtigkeit rel. %	Temperaturen °C		Mittelwert Temperatur	Mittelwert Feuchtigkeit
3,9 (11)	100 96,0	A 17,0 B 17,0	17,0 17,0	17,0 17,0	98,7
5,6 (12)	100 100	A 17,0 B 17,0	17,0 17,0	17,0 17,0	100
6,2 (11)	100 100	A 17,0 B 17,0	17,0 17,0	17,0 17,0	100
8,1 (10)	100 100	A 17,0 B 17,0	17,0 17,0	17,0 17,0	100

+) Atemfrequenz

Definitionen (50)

Absolute Feuchtigkeit ist die in der Luft vorhandene Wasserdampfmenge.

Maximale Feuchtigkeit ist die größtmögliche Wasserdampfmenge, die bei einer bestimmten Temperatur von der Luft aufgenommen werden kann. Mit steigender Temperatur nimmt dieser Sättigungsgehalt zu.

Relative Feuchtigkeit ist das Verhältnis von absoluter zu maximaler Feuchtigkeit in Prozenten.

Spezifisches Volumen ist das Volumen, das 1 Gramm einer Substanz (hier : eines Gases) unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen darstellt.

Spezifische Wärme ist die Kalorienanzahl, die notwendig ist, um 1 Gramm einer Substanz um 1°C zu erhöhen.

Literaturangaben

- (1) Frey, R., Hügin, W., Mayrhofer, O.
Lehrbuch der Anaesthesiologie
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-
Heidelberg, 1955, S.441/442
- (2) -- ebenda, S.442/443
- (3) -- ebenda, S.561
- (4) Bates, D.V., Christie, R.V.
Respiratory function in Disease
W.B. Saunders Company, Philadelphia and
London, 1964, S.453
- (5) Crawford, O.B.
The Anaesthesiologist's
Responsibilities in Tracheostomy
Anaesthesiology, Vol.22, 1961, S.86/87, vgl. auch
Dönhardt, A.
Künstliche Dauerbeatmung
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-
Heidelberg, 1955, S.122/123
- (6) Rossier, P.H., Bühlmann, A., Wiesinger, K.
Physiologie und Pathophysiologie der
Atmung
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-
Heidelberg, 1958, S.298
- (7) Bates, D.V., Christie, R.V.
Respiratory Function in Disease,
a.a.O., S.453
- (8) Rossier, P.H., Bühlmann, A., Wiesinger, K.
Physiologie und Pathophysiologie der
Atmung,
a.a.O., S.298/299
- (9) Bates, D.V., Christie, R.V.,
Respiratory Function in Disease,
a.a.O., S.459 und 466/467
- (10) -- ebenda, S.458/459
- (11) Rossier, P.H., Bühlmann, A., Wiesinger, K.
Physiologie und Pathophysiologie
der Atmung, S.299
- (12) -- ebenda, S.300
- (13) Dönhardt, A.
Künstliche Dauerbeatmung
a.a.O., S.25

- (14) Macintosh, R.R., Mushin, W.W., Epstein, H.G.
Physik für Anaesthesisten
Dr.Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg,
1961, S.47-52
- (15) -- ebenda, S.53
- (16) Rügheimer, E.
Komplikationen der Tracheotomie, ihre
Vermütung und Behandlung.
Anaesthesiologie und Wiederbelebung
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-
New York, 1966, S.93
- (17) Verzár, F., Keith, J., Parchet, V.
Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in
den Atemwegen
Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie
Band 257, Heft 5 , 1953, S.413
- (18) -- Ebenda, S.415
- (19) Schwab, W.
Über morphologische und funktionelle Ver-
änderungen im Atmungstrakt nach Laryngek-
tomie
Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopf-
heilkunde, Band 166, Heft 6, 1954/55, S.469
- (20) Schwab, W., Ey, W., Ulmer, W.
Die Lungenfunktion beim Kehlkopflosen
Medizin, Theorie und Klinik in Einzel-
darstellungen, Band 3, 1958, S.5
- (21) Burton, J.D.K.
Effects of Dry Anesthetic Gases on the
Respiratory Mucous Membrane
The Lancet, Vol.1, 1962, S.236/237
- (22) Rügheimer, E.
Physikalische Voraussetzungen der
Inhalationstherapie
Melsunger Medizinische Nachrichten aus
Wissenschaft und Praxis, B. Braun, Melsungen,
Band 41, Heft 109, 1967, S.52
- (23) Grandjean, E.
Die Luftfeuchtigkeit
Zeitschrift für Präventivmedizin
Heft 5, 1962, S.415

- (24) Gillies, J.
The Time Factor in Surgical Operations
Proceedings of the Royal Society of
Medicine, Vol. 36, No. 9, 1943,
S.459/460
- (25) Ingelstedt, S.
Studies on the Conditioning of Air in
the Respiratory Tract
Acta Oto-laryngologica, Suppl. 131,
1956, S.417
- (26) s. unter (17)
- (27) Schwab, W.
Über morphologische und funktionelle
Veränderungen am Atmungstrakt nach
Laryngektomie
a.a.O., S.472
- (28) Schwab, W., Ey, W., Ulmer, W.
Die Lungenfunktion beim Kohlkopfflosen
a.a.O., S.5/6
- (29) s. unter (27)
- (30) Rügheimer, E.
Physikalische Voraussetzungen der
Inhalationstherapie
a.a.O., S.53 u. 54
- (31) s. unter (25)
- (32) s. unter (17)
- (33) Gillies, J.
The Time Factor in Surgical Operations
a.a.O., S.459
- (34) Grandjean, E.
Die Luftfeuchtigkeit
a.a.O., S.416
- (35) Dunklin, E.W., Puck, T.T.
The Letal Effect of Relative Humidity
on Air-borne Bacteria
The Journal of Experimental Medicine
Vol. 87, No.1, 1948, S.89 und 91
- (36) Grandjean, E., Rhiner, A.
Die Wirksamkeit von Luftbefeuchtern
Archiv für Hygiene und Bakteriologie
Band 148, Heft 3, 1964, S.200

- (37) Frey, R., Hügin, W., Mayrhofer, O.
Lehrbuch der Anaesthesiologie
a.a.O., S.561
- (38) Bates, D.V., Christie, R.V.
Respiratory Function in Disease,
a.a.O., S.456
- (39) Rossier, P.H., Bühlmann, A., Wiesinger, K.
Physiologie und Pathophysiologie der
Atmung
a.a.O., S.305
- (40) Crawford, O.B.
The Anesthesiologist's Responsibilities
in Tracheotomy
a.a.O., S.90-92
- (41) Laros, C.D.
Einige Betrachtungen über den Feuchtig-
keitsgrad der zum Einatmen bestimmten
Gasgemische und deren Bedeutung für den
Patienten
Thoraxchirurgie und vaskuläre Chirurgie
Band 12, Heft 5, 1965, S.354 ff.
- (42) Weber, E.,
Grundriß der biologischen Statistik
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1967,
S.229 ff.
- (43) -- ebenda, S.258 ff.
- (44) Grandjean, E., Rhiner, A.
Die Wirksamkeit von Luftbefeuchtern
a.a.O., S.205
- (45) Laros, C.D.
Einige Betrachtungen über den Feuchtig-
keitsgrad.
a.a.O., S.359
- (46) Ingelstedt, S.
Studies on the Conditioning of Air in
the Respiratory Tract
a.a.O., S.417
- (47) -- ebenda, S.417
- (48) Laros, C.D.
Einige Betrachtungen über den Feuchtig-
keitsgrad.
a.a.O., S.359

(49) s. unter (15)

(50) Macintosh, R.R., Mushin, W.W., Epstein, H.G.
Physik für Anaesthesisten und nach
Grandjean, E. Die Luftfeuchtigkeit.
a.a.O.

L e b e n s l a u f

Am 6. Oktober 1941 wurde ich in Stuhm/Westpreußen als erstes von drei Kindern der Eheleute Helmuth Exner, damals Studienassessor, und Gertrud Exner, geb. Lau geboren.

Nach der Flucht verlebte ich meine Schulzeit in Schenefeld bei Hamburg und Osterode am Harz, wo ich die dortige Oberschule mit dem Abitur im Jahre 1961 abschloß. Danach leistete ich meinen Wehrdienst ab und begann 1962 in Marburg das Studium der Medizin. 1965 setzte ich dieses in Mainz fort und beschloß es mit dem Staatsexamen im Jahre 1968.

Meine Medizinalassistentenzeit verbrachte ich in Darmstadt am Elisabethenstift (Chirurgie), am Marienhospital (Geburtshilfe und Gynäkologie) und in Jugenheim am Kreis-krankenhaus (interne Medizin). Danach bekam ich im Januar 1970 die Approbation erteilt und begann meine Ausbildung zum Facharzt für Chirurgie am Elisabethenstift in Darmstadt.

Seit dem 2.2.1968 bin ich mit meiner Frau Hildburg, geb. Heesemann, verheiratet. Sie ist Diplom-Volkswirt. Zur Zeit unterrichtet sie an der Berufsschule in Höchst. Wir haben einen fünfjährigen Jungen und ein zweijähriges Mädchen.

Zur Zeit bin ich im letzten Jahr der Facharztweiterbildung für Chirurgie am Stadtkrankenhaus Frankfurt-Höchst.

Frankfurt am Main, im Mai 1974

